

Studienarbeit

Potentialanalyse des Specific Operations Risk Assessments (SORA) für unbemannte Luftfahrzeuge

von

Manuel Pape (Matrikelnummer: 4545400)

Dienstag, 30. April 2019

Im Studiengang:	Maschinenbau
In der Studienrichtung:	Luft- und Raumfahrttechnik
An der:	Technischen Universität Dresden
Betreuer:	Dipl.-Ing. Sebastian Subatzus, TU Dresden, ILR M. Sc. Florian Nikodem, Institut für Flugsystemtechnik, DLR Braunschweig
Bearbeitungszeitraum:	01.10.2018 – 01.05.2019

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tage dem Prüfungsausschuss der Fakultät Maschinenwesen eingereichte Studienarbeit zum Thema

Potentialanalyse des Specific Operations Risk Assessments (SORA) für unbemannte Luftfahrzeuge

vollkommen selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

Manuel Pape, Mannheim, 30.04.2019,



Ort, Datum, Unterschrift

Kurzfassung

In der bemannten Luftfahrt liegt der Fokus der Zulassung und von Sicherheitsbetrachtungen auf dem Schutz der Passagiere an Bord. Für unbemannte Systeme ist dieser Ansatz unzureichend, sodass neue Vorgehensweisen gefunden werden müssen. Das „Specific Operations Risk Assessment“ (SORA) ist einer dieser neuen Ansätze und erlaubt neben technischen auch operationelle Maßnahmen zur Reduktion des Einsatzrisikos für Personen am Boden oder anderen Luftverkehr. In dieser Arbeit wird das Potential untersucht, das dadurch für Hersteller und Betreiber unbemannter Luftfahrzeuge entsteht, und ein Vergleich mit der bemannten Luftfahrt gezogen. Es werden außerdem Kompromisslösungen anhand der verschiedenen Möglichkeiten von SORA erarbeitet und Kriterien zum Vergleich und zur Bewertung der Lösungsmöglichkeiten definiert.

Abstract

The certification and safety assessment of manned aviation highly focuses on the protection of passengers on board of the aircraft. For unmanned aviation this approach is insufficient, therefore new strategies have to be considered. One of these is the “Specific Operations Risk Assessment” (SORA), which besides technical measures allows operational ones to reduce the risk of the operation for third parties on ground or in the air. This paper investigates the potential emerging for manufacturers and operators of unmanned aircraft systems and draws a comparison to manned aviation. Furthermore it shows possible compromise solutions from the possibilities of SORA and defines criteria to evaluate and compare the solutions.

Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung	II
Kurzfassung.....	III
Abstract.....	III
Inhaltsverzeichnis.....	1
Abkürzungen.....	3
1 Einleitung	7
2 Zulassung ziviler Luftfahrzeuge in Europa	8
2.1 Bemannte Luftfahrzeuge	8
2.2 Unbemannte Luftfahrzeuge	16
2.2.1 UAS der Kategorie „offen“	22
2.2.2 UAS der Kategorie „spezifisch“	27
2.2.3 UAS der Kategorie „zertifiziert“	31
3 Sicherheitsbewertung von unbemannten Systemen	39
3.1 Specific Operations Risk Assessment, SORA	39
3.1.1 Schritt 1: ConOps-Beschreibung	44
3.1.2 Schritt 2: Ermittlung der UAS-intrinsischen GRC	45
3.1.3 Schritt 3: Ermittlung der finalen GRC.....	46
3.1.4 Schritt 4: Ermittlung der initialen ARC.....	50
3.1.5 Schritt 5 (optional): Strategische Mitigationen zur Ermittlung der finalen ARC .	51
3.1.6 Schritt 6: TMPR und Robustheitsgrade	56
3.1.7 Schritt 7: SAIL-Ermittlung	60
3.1.8 Schritt 8: Identifikation der OSOs	60
3.1.9 Schritt 9: Berücksichtigung des angrenzenden Gebietes/Luftraums	64
3.1.10 Schritt 10: Umfassendes Safety-Portfolio.....	65
3.2 Sicherheitsanalyse der Kategorie Zertifiziert	65
3.3 Vergleich zwischen spezifischer und zertifizierter Kategorie.....	70

4	Potentiale von Kompromisslösungen	75
4.1	Herstellersicht	75
4.1.1	Kompromisspotentiale der einzelnen Anforderungen	78
4.1.2	Zusammenfassung in Form kompletter Kompromisslösungen.....	84
4.2	Betreibersicht	87
4.2.1	Kompromisspotentiale der einzelnen Anforderungen	88
4.2.2	Zusammenfassung in Form kompletter Kompromisslösungen.....	96
5	Kriterien zur Bewertung und Durchführung von Kompromisslösungen	99
5.1	Kriterien für Hersteller	100
5.2	Kriterien für Betreiber	103
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	110
	Literaturverzeichnis.....	114
	Abbildungsverzeichnis.....	118
	Tabellenverzeichnis.....	119

Abkürzungen

<i>Abkürzung</i>	<i>Benennung</i>	<i>Bedeutung/Übersetzung</i>
21J-Betrieb/ 21G-Betrieb	Nach EASA zugelassener Entwicklungs-/Herstellungsbetrieb	Gem. Teil 21, Hauptabschnitt A, Unter- abschnitt J bzw. G
ABSAA	Airborne-Based Sense and Avoid	Dt.: luftgestütztes Bemerken und Aus- weichen
ACAS-X	Airborne Collision Avoidance System	Dt.: luftgestütztes Kollisions- vermeidungssystem
AEC	Airspace Encounter Rate	Dt.: Luftraumbegegnungsrate
AGL	Above Ground Level	Dt.: Höhe über Grund; [m] oder [ft]
AltMoC	Alternative Means of Compliance	Dt.: alternative MoC
AMC	Acceptable Means of Compliance	Dt.: annehmbare Nachweisverfahren
A-NPA	Advanced NPA	Dt.: Erweiterte NPA
AOC	Aircraft Operator Certificate	Dt.: Luftverkehrsbetreiberzeugnis
ARC	Air Risk Class	Dt.: Luftrisikoklasse
ARP	Aerospace Recommended Practice	Von der SAE vorgeschlagene Praxis für die Luftfahrt
ASA	Aircraft Safety Assessment	Dt.: Sicherheitsbewertung auf Luftfahrzeugebene
ATC	Air Traffic Control	Dt.: Luftverkehrskontrolle
ATM	Air Traffic Management	Dt.: Luftverkehrsmanagement
BVLOS	Beyond VLOS	Dt.: außerhalb VLOS
C2	Command and Control	Dt.: Steuerung und Kontrolle
C3	Command, Control and Communicate	Dt.: Steuerung, Kontrolle und Kommu- nikation
CAGR	Compound Annual Growth Rate	Dt.: Jährliche Wachstumsrate
CE- Kennzeichen		Kennzeichnet Konformität mit produkt- spezifisch geltenden Mindest- anforderungen der EU
CMA	Common Mode Analysis	Dt.: Analyse gleichartiger Fehlerfälle
CofA	Certificate of Airworthiness	Dt.: Lufttüchtigkeitszertifikat
ConOps	Concept of Operations	Dt.: Einsatzkonzept
CRI	Certification Review Item	Spezielle Zertifizierungsforderungen eines Musters
CS	Certification Specification	Bauvorschriften der EASA
DAA	Detect and Avoid	Dt.: Entdecken und Ausweichen
DAL	Development Assurance Level	Dt.: Entwicklungssicherungslevel
DDP	Declaration of Design and Per- formance	Dt.: Design- und Leistungserklärung
EASA	European Aviation Safety Agency	Dt.: Europäische Luftfahrtbehörde

<i>Abkürzung</i>	<i>Benennung</i>	<i>Bedeutung/Übersetzung</i>
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment	Gemeinnützige Organisation zur Standardisierung von Luftfahrtelektronik
EVLOS	Enhanced VLOS	Dt.: erweitertes VLOS
FAA	Federal Aviation Administration	Bundesluftfahrtbehörde der USA
FCS	Flight Control System	Dt.: Flugsteuerungssystem
FHA	Functional Hazards Assessment	Dt.: funktionale Gefährdungsanalyse
FLARM	Kofferwort aus „Flight“ und „Alarm“	Verkehrsinformations- und Kollisionsvermeidungssystem
FMEA	Failure Mode and Effects Analyses	Dt.: Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
GBSAA	Ground-Based Sense and Avoid	Dt.: bodengestütztes Bemerken und Ausweichen
GCS	Ground Control Station	Dt.: Bodenkontrollstation
GM	Guidance Material	Dt.: Leitfaden für EASA-Regularien
GRC	Ground Risk Class	Dt.: Bodenrisikoklasse
ICA	Instructions for continued Airworthiness	Anweisung zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit
ICAO	International Civil Aviation Organization	Dt.: Internationale Zivilluftfahrtorganisation
IFR	Instrument Flight Rules	Dt.: Instrumentenflugregeln
IMA	Integrated Modular Avionics	Dt.: integrierte modulare Avionik
JAA	Joint Aviation Authorities	Vorgänger der EASA
JAR	Joint Aviation Requirements	Ehemalige Bauvorschriften der JAA
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems	Internationales Expertengremium zur Erarbeitung einheitlicher Regelungen für UAS
LRE	Launch and Recovery Element	Dt.: Start- und Rückholelement
LUC	Light UAS Operator Certificate	Zertifikat für Nutzer von leichten UAS, ggf. mit Privilegien verbunden
LufABw	Luftfahrtamt der Bundeswehr	Deutsche militärische Luftfahrtbehörde
MAC	Mid Air Collision	Dt.: Kollision im Flug
MIDCAS	Mid-Air Collision Avoidance System	Dt.: Kollisionsvermeidungssystem im Flug
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle	
MoC	Means of Compliance	Dt.: Nachweisverfahren
MTOM	Maximum Take-off Mass	Dt.: maximale Abflugmasse; [kg]
NPA	Notice of Proposed Amendment	Dt.: Bekanntmachung einer vorgeschlagenen Änderung
OSO	Operational Safety Objectives	Dt.: operationelle Sicherheitsanforderungen
PASA	Preliminary ASA	Dt.: vorläufige ASA

<i>Abkürzung</i>	<i>Benennung</i>	<i>Bedeutung/Übersetzung</i>
PRA	Particular Risk Assessment	Dt.: spezielle Sicherheitsbewertung
PSSA	Preliminary SSA	Dt.: vorläufige Systemsicherheitsanalyse
ROC	Remote Operator's Certificate	Dt.: UAS-Nutzerzertifikat
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	Dt.: ferngesteuertes Luftfahrzeugsystem
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics	Föderative Gutachterkommission in den USA
SAE	Society of Automotive Engineers	Dt.: gemeinnütziger Verband der Automobilingenieure
SAIL	Specific Assurance and Integrity Level	Dt.: spezifisches Sicherstellungs- und Integritätslevel
SARP	Standards and Recommended Practices	Dt.: Standardisierungsbestrebungen der ICAO
SESAR	Single European Sky ATM Research	Projekt der SJU zur Vereinheitlichung des ATM von Europa
SJU	SESAR Joint Undertaking	Öffentlich-private Partnerschaft zur Durchführung des SESAR-Projekts
SMS	Sicherheitsmanagementsystem	
SORA	Specific Operations Risk Assessment	Risikoanalyseprozess für Einsätze der spezifischen Kategorie
SSA	System Safety Assessment	Dt.: Systemsicherheitsanalyse
SW & AEH	Software and Airborne Electronic Hardware	Dt.: Software und im Luftfahrzeug befindliche elektronische Hardware
TC	Type Certificate	Dt.: Musterzulassung
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System	Dt.: Verkehrswarn- und Kollisionsvermeidungssystem
TCDS	Type Certificate Data Sheet	Dt.: Datenblatt der Musterzulassung
TMPR	Tactical Mitigation Performance Requirements	Dt.: Anforderungen an die Fähigkeiten taktischer Mitigationen
TMZ	Transponder Mandatory Zone	Bereich, in dem ein Transponder vorgeschrieben ist
TSO	Technical Standard Order	Dt.: technische Standardverordnung
UA	Unmanned Aircraft	Dt.: unbemanntes Fluggerät
UAS	Unmanned Aircraft System	Dt.: unbemanntes Luftfahrzeugsystem
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Dt.: unbemanntes Fluggerät
UL	Ultimate Load	Dt.: Bemessungsbruchlast
ULfzSys	Unbemanntes Luftfahrzeugsystem	
UTM	Unmanned Traffic Management	Siehe auch U-Space
U-Space	Unmanned Traffic Management	Projekt zur Erarbeitung eines ATM spezielle für UAS

<i>Abkürzung</i>	<i>Benennung</i>	<i>Bedeutung/Übersetzung</i>
VDI	Verein Deutscher Ingenieure	
VFR	Visual Flight Rules	Dt.: Sichtflugregeln
VHL	Very High Level	Sehr hoher Luftraum (> FL600)
VLL	Very Low Level	Sehr niedriger Luftraum (< 500 ft AGL)
VLOS	Visual Line of Sight	Dt.: direkte visuelle Sichtlinie
ZSA	Zonal Safety Analysis	Dt.: zonale Sicherheitsanalyse

1 Einleitung

„Dutzende Flugverbindungen fielen aus, anfliegende Flugzeuge wurden umgeleitet, viele Abflüge verspätet. Der Grund: ein Drohnen Zwischenfall!“¹. „Passagiermaschine kollidiert bei Landeanflug beinahe mit Drohne“². Vorfälle dieser Art sind in den letzten Jahren immer häufiger geworden und schon lange kein Einzelfall mehr. Die fortschreitende Technologie unbemannter Flugsysteme – umgangssprachlich auch als „Drohnen“ bezeichnet – führt dazu, dass sie immer günstiger und somit auch für Laien erschwinglich werden. Durch mannigfaltige Einsatzmöglichkeiten bieten sie das Potential hoher Kosteneinsparungen in verschiedensten kommerziellen Bereichen, gleichzeitig können sie wie in den erwähnten Pressemeldungen dargestellt aber auch eine erhebliche Gefahr ausüben. Wie schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts für die bemannte Luftfahrt ergibt sich somit auch für den unbemannten Bereich die Notwendigkeit von Standards und Bau- und Prüfvorschriften, um die heutige hohe Sicherheit der Zivilluftfahrt erhalten zu können. Aus diesem Grund wurden auf europäischer Ebene verschiedene Maßnahmen getroffen, um das vorhandene Regelwerk auf unbemannte Luftfahrzeuge zu erweitern. Dabei wird ein neuer Ansatz verfolgt, der sich durch seine Konzentration auf den konkreten Einsatz wesentlich von den bisherigen Regelungen der bemannten Luftfahrt unterscheidet. Im Rahmen dieser Arbeit werden ein Vergleich mit dem klassischen Ansatz der bemannten Luftfahrt und eine Analyse des Potentials dieser neuen Vorgehensweise durchgeführt.

Zu diesem Zweck werden zunächst die generellen Zulassungsvorschriften der zivilen bemannten Luftfahrt dargestellt. Sie bilden mit ihrem Sicherheitsniveau die Basis für die neuen Regelungen der unbemannten Systeme, die im Anschluss betrachtet werden. Wie auch in der bemannten Luftfahrt kommt der Sicherheitsbewertung dabei eine herausragende Rolle zu, weshalb diese hervorgehoben wird. Das „Specific Operations Risk Assessment“, kurz SORA, als eine Methode dieser Bewertung wird dann näher erläutert und im Anschluss mit dem klassischen Ansatz verglichen. Durch den Aufbau und Ansatz von SORA können verschiedene Kompromisslösungen identifiziert werden, die getrennt nach Hersteller und Betreiber erarbeitet und hinsichtlich ihres Potentials untersucht werden. Zuletzt werden Kriterien definiert, mit denen die Lösungsmöglichkeiten bewertet werden können. Aufgrund individueller Unterschiede zwischen Unternehmen dienen diese Kriterien lediglich als Anhaltspunkte und sind auf den konkreten Fall anzupassen. Es folgen zum Abschluss der Arbeit eine kurze Zusammenfassung mit Hervorhebung der wesentlichen Erkenntnisse und ein Ausblick.

¹ [12] Drohnen-Journal.de vom 25.03.2019: URL: <https://www.drohnen-journal.de/drohnen-zwischenfall-am-frankfurter-flughafen-2296> Stand: 27.04.2019.

² [21] Handelsblatt GmbH vom 27.03.2019: URL: https://www.handelsblatt.com/arts_und_style/aus-aller-welt/neuseeland-passagiermaschine-kollidiert-bei-landeanflug-beinahe-mit-drohne/21118362.html?ticket=ST-533609-3FKxGyhclYSe4f9HFBEa-ap1 Stand 27.04.2019.

2 Zulassung ziviler Luftfahrzeuge in Europa

Die Anzahl der im europäischen Luftraum operierenden Luftfahrzeuge hat in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich stark zugenommen, wie in Abb. 1 zu sehen ist. Bereits in den 60er Jahren ergab sich daher die Notwendigkeit, international einheitliche und anerkannte Regeln für den Luftverkehr zu definieren. Aus diesem Grund wurde 1970 die sog. Joint Airworthiness Authorities gegründet, welche später in Joint Aviation Authorities (JAA) umbenannt und schließlich ab dem Jahr 2002 durch die European Aviation Safety Agency (EASA) abgelöst wurde. Zweck dieser Organisationen war bzw. ist es, gemeinsame Regelungen für den zivilen Luftverkehr Europas zu erarbeiten. Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist die einheitliche Regelung von Zulassung und Zertifizierung bemannter Luftfahrzeuge, die im europäischen Luftraum betrieben werden sollen. Da diese Vorschriften die Grundlage der Zulassung von unbemannten Luftfahrzeugen darstellen, wird im Folgenden ein Überblick über die Vorgänge zur Zulassung von bemannten Luftfahrzeugen dargestellt.³



Abb. 1: Vergleich des Luftverkehrs zwischen 1998 und 2015

Quelle: [18] Eurocontrol, Brüssel: URL: <https://www.eurocontrol.int/dossiers/flight-planning-air-route-network-and-airspace-design-europe>, Stand: 25.01.2019.

2.1 Bemannte Luftfahrzeuge

Grundlage der Zulassung heutiger Luftfahrzeuge in Europa ist die „Basic Regulation“ der EASA: Die „Regulation (EC) No 1592/2002“ wurde 2002 vom Europäischen Parlament veröffentlicht und stellt die Legitimation sowohl der EASA als regulatorische Organisation als auch der einheitlichen Regeln der zivilen Luftfahrt dar. Die aktuelle Version ist die am 04.07.2018 veröffentlichte [32] „Regulation (EU) 2018/1139“. ⁴ Unter dieser Regelung definieren die „Commission Regulations“ der Europäischen Kommission bestimmte Teilbereiche näher. Für die Zulassung besonders relevant ist [33] „Commission Regulation (EU) No 748/2012“ mit dem Titel „Festlegung der Durchführungsbestimmungen für die Erteilung

³ Siehe [7] Mensen: Handbuch der Luftfahrt. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2013, S. 109f.

⁴ Siehe [8] Nikodem, F.; Dittrich, J. S.; Bierig, A.: The new specific operations risk assessment approach for UAS regulation compared to common civil aviation risk assessment. DLR, Braunschweig 2018.

von Lufttüchtigkeits- und Umweltzeugnissen für Luftfahrzeuge und zugehörige Produkte, Bau- und Ausrüstungsteile sowie für die Zulassung von Entwicklungs- und Herstellungsbetrieben“, die am 03.08.2012 herausgegeben wurde. Die Zulassung als initiale Feststellung der Lufttüchtigkeit wird darunter wiederum im Annex I, Teil 21 „Zertifizierung von Luftfahrzeugen und zugehörigen Produkten, Bau- und Ausrüstungsteilen und von Entwicklungs- und Herstellungsbetrieben“ festgehalten. Dieser Teil definiert im Hauptabschnitt A technische Anforderungen, die zur Erlangung der sog. Musterzulassung und zur Anerkennung eines Betriebs als Entwicklungs- (Abschnitt J) und/oder Herstellungsbetrieb (Abschnitt G) erfüllt werden müssen. Hauptabschnitt B beinhaltet Verfahrensvorschriften für zuständige Behörden und wird in dieser Arbeit, bei der es hauptsächlich um die Hersteller und Betreiber von unbemannten Luftfahrzeugen gehen soll, nicht weiter betrachtet.⁵

Damit ein Betrieb ein Luftfahrzeug nach europäischen Standards entwickeln und/oder herstellen darf, muss er als Entwicklungs- und/oder Herstellungsbetrieb anerkannt sein. Solche Betriebe werden im folgenden 21J-Betriebe bzw. 21G-Betriebe genannt. Soll ein neues Luftfahrzeug gebaut werden, muss für dieses, damit es im europäischen Luftraum operieren darf, eine Musterzulassung bzw. ein sog. TC (engl. Type Certificate) erlangt werden. Dazu wird zunächst in Rücksprache mit der zuständigen Behörde und in Übereinstimmung mit Abschnitt B der [33] Verordnung (EU) Nr. 748/2012 eine Zulassungsbasis in Form von Bauvorschriften festgelegt. Gängige Bauvorschriften sind hierbei die aus den „Joint Aviation Requirements“ (JARs) der JAA entwickelte „Certification Specifications“ (CS) der jeweiligen Luftfahrzeugkategorie, die im Sinne einer Harmonisierung auf globalem Level und zur Erleichterung einer Anerkennung des jeweils anderen Regelungsraumes eine sehr große Ähnlichkeit zum amerikanischen Regelwerk der FAA (Federal Aviation Administration, Bundesluftfahrtbehörde der USA) aufweisen. Es gibt je nach Art des Luftfahrzeugs (Starr- oder Drehflügler), maximaler Abflugmasse (MTOM, engl. Maximum take-off mass) und teilweise auch nach Art des Antriebs unterschiedliche CSs. Außerdem gibt es für Geräte, die eine eigene Zulassung erhalten, spezielle CSs – bspw. werden Triebwerke häufig nach CS-E zugelassen. Weitere Beispiele für CSs sind die CS-25 „Large Aeroplanes“ für große Passagier- und Transportflugzeuge mit Turbinenluftstrahltriebwerken, CS-23 „Normal-Category Aeroplanes“ für kleine Luftfahrzeuge, teilweise mit Verbrennungsmotoren, CS-22 für Segel- und Motorsegelflugzeuge sowie die CS-27 und CS-29 für kleine und große Drehflügler. Insgesamt gibt es 26 verschiedene CSs für ganze Luftfahrzeuge oder zugehörige Produkte, wobei jedoch nicht alle Bauvorschriften enthalten – so beschreibt bspw. CS-Definitions Definitionen und Abkürzungen, die in den CSs verwendet werden. Die Bauvorschriften bestehen in der Regel aus zwei Büchern: Das erste definiert die Anforderungen an ein Luftfahrzeug, die zur

⁵ Siehe [33] Amtsblatt der Europäischen Union: Verordnung (EU) Nr. 748/2012 der Kommission. EU Kommission, Brüssel 2012.

Erlangung eines TC erfüllt werden müssen, und das zweite enthält sog. „Acceptable Means of Compliance“ (AMC), also Möglichkeiten zur Erfüllung dieser Forderungen. Des Weiteren bietet die EASA auch „Guidance Material“ (GM) für Behörden und Firmen an, das Erläuterungen, Informationen inkl. Beispielen und Hilfsmitteln zur Erfüllung der EASA-Regularien enthält.⁶ Um ein TC für ein Luftfahrzeug zu erhalten, muss ein zertifizierter 21J-Betrieb demnach die Einhaltung der Bauvorschriften aus dem ersten Buch der anzuwendenden CS mit den AMCs aus dem zweiten Buch für das zu entwickelnde Luftfahrzeug nachweisen, damit ein zertifizierter 21G-Betrieb dieses Luftfahrzeug nach den zugelassenen Bauunterlagen herstellen kann und es danach im europäischen zivilen Luftraum verkehren darf. Ein 21J-Betrieb kann anstelle der jeweiligen AMCs auch alternative Möglichkeiten des Nachweises der Übereinstimmung mit der Zulassungsbasis vorschlagen. Diese sog. AltMoCs (engl. Alternative Means of Compliance) müssen jedoch vorher durch die zuständige Behörde genehmigt werden. Scheint eine Forderung nicht angemessen oder sollte aus Sicht der Industrie oder der Behörde für den konkreten Fall angepasst werden, wird ein sog. „Certification Review Item“ (CRI) erstellt, das von der zuständigen Behörde genehmigt werden muss und bestimmte Forderungen der CS ersetzen kann. Die Zulassungsbasis mit der anzuwendenden CS und u. U. einem oder mehreren CRIs wird im Musterprüfprogramm vor der Entwicklung festgelegt und von der Behörde genehmigt. Dort werden auch die Means of Compliance (MoCs) für die einzelnen Forderungen und möglicherweise AltMoCs aufgeführt. Die MoCs sind in der Regel standardisiert nach:

- 0: Übereinstimmungserklärung
- 1: Zeichnungen und technische Beschreibung
- 2: Analyse und Berechnungen
- 3: Systemsicherheitsanalysen (System Safety Assessment, SSA)
- 4: Labortest
- 5: Bodentest
- 6: Flugtest
- 7: Inspektion
- 8: Simulation
- 9: Ausrüstungsqualifikation und Anbieterdaten⁷

Ein wesentlicher Punkt im Entwicklungs- und Zulassungsprozess eines Luftfahrzeuges ist der Paragraph 1309 der jeweiligen CS, wenn vorhanden (bspw. in CS-E und CS-P nicht enthalten), bzw. im Falle der CS-23 für Luftfahrzeuge der normalen Kategorie der Paragraph 2510. Auf seine Anforderungen wird hier näher eingegangen, da SORA für unbemannte Luftfahrzeuge einen möglichen AMC für ihn darstellen soll. Allgemein setzt er setzt

⁶ Siehe [17] EASA; Köln: <https://www.easa.europa.eu/regulations> Stand: 27.04.2019.

⁷ Nach [22] Hinsch, M.; Hamburg: https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dgllr/hh/text_2012_05_10_Musterzulassung.pdf Stand: 27.04.2019; S. 30f.

sich mit Design- und Installationsanforderungen von Systemen und Geräten (original: „Equipment, Systems and Installation“⁸), speziell mit der Schwere der Auswirkungen und den Eintrittswahrscheinlichkeiten von System- und Komponentenfehlern, auseinander und soll ein akzeptables Sicherheitsniveau für Systeme und Geräte gewährleisten.⁹ Ein ausführlicher AMC ist in [38] CS-25 für große Flugzeuge enthalten, dieser fordert u.a. eine Einstufung der Fehlerfälle in folgende Kategorien:

- „No safety Effect“ für Fehler, die höchstens eine leichte Unannehmlichkeit der Passagiere bedeuten, bspw. der Ausfall des In-Flight-Entertainment-Systems, solange keine Flugsteuerungssysteme betroffen sind,
- „Minor“ für eine geringe Reduzierung der Funktionalität oder Sicherheitsmarge, physische Unbequemlichkeit der Passagiere oder leicht erhöhte Belastung der Crew, bspw. der Ausfall eines Landelichtes,
- „Major“ für eine signifikante Reduzierung der Funktionalität oder Sicherheitsmarge, physische Schmerzen und möglicherweise Verletzungen von Passagieren oder physische Unbequemlichkeit oder signifikant erhöhte Belastung der Crew, bspw. der Ausfall eines Triebwerks bei einem mehrstrahligen Flugzeug,
- „Hazardous“ für eine große Reduzierung der Funktionalität oder Sicherheitsmarge, ernsthafte bis tödliche Verletzungen einer geringen Anzahl von Passagieren oder Kabinencrewmitgliedern, physische Schmerzen oder übermäßig hohe Arbeitsbelastung der Crew oder Einschränkung der korrekten Bewältigung von Aufgaben, bspw. Fehler, die zu einer Notlandung führen wie Beschädigungen des Rumpfes, die zu einem Druckverlust führen, und
- „Catastrophic“ für normalerweise Verlust der Zelle, mehrere Todesfälle unter Passagieren oder Todesfälle oder Handlungsunfähigkeit der Crew, bspw. Fehler, die zum Absturz führen.¹⁰

Es ist zu beachten, dass die Einstufung eines Fehlers unabhängig von der CS-seitigen Notwendigkeit des Systems ist. So können bspw. nach den Paragraphen CS 25.1385 bis CS 25.1397 Positionslichter zwar notwendig sein¹¹, der Ausfall eines davon jedoch maximal als Minor-Fehler eingestuft werden. Umgekehrt gibt es Systeme, die keine Forderung zwingend vorschreibt wie ein Autopilot-System, deren Fehlfunktion jedoch in einem katastrophalen Ereignis enden kann.

⁸ [38] CS-25: Certification Specification and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes. Amendment 22, EASA: Köln 2018; S. 1-F-4.

⁹ Ebenda.

¹⁰ Ebenda; S. 2-F-45.

¹¹ Ebenda; S. 1-F-16ff.

Trägt man die Effekte gegen die erlaubten Wahrscheinlichkeiten der Fehler auf, ergibt sich Abb. 2. Dabei stellen die Wahrscheinlichkeiten jeweils eine Größenordnung dar, die nicht überschritten werden darf und sich aus der Überlegung ergibt, dass der Fehler innerhalb der Lebensdauer eines Luftfahrzeugs mit einer bestimmten Häufigkeit auftreten darf. Folgende Größenordnungen dürfen pro Flugstunde nicht überschritten werden:

- 10^{-3} bei „Probable“: der Fehler darf ein- oder mehrfach während der Lebensdauer eines Luftfahrzeuges auftreten,
- 10^{-5} bei „Remote“: unwahrscheinlich, dass der Fehler ein Luftfahrzeug während seiner Lebensdauer betrifft, auf mehrere Flugzeuge gerechnet kann er aber mehrfach auftreten,
- 10^{-7} bei „Extremely Remote“: der Fehler soll in der Lebensdauer des einzelnen Flugzeugs nicht vorkommen, kann aber auf die gesamte Flotte gerechnet wenige Male auftreten und
- 10^{-9} bei „Extremely Improbable“: der Fehler ist so unwahrscheinlich, dass er voraussichtlich nicht einmal in der gesamten Flotte auftritt.¹²

Weiterhin wird ausgeführt, dass gemäß der Fail-Safe-Philosophie kein Einzelfehler unabhängig von seiner Wahrscheinlichkeit zu einem katastrophalen Versagen führen darf.

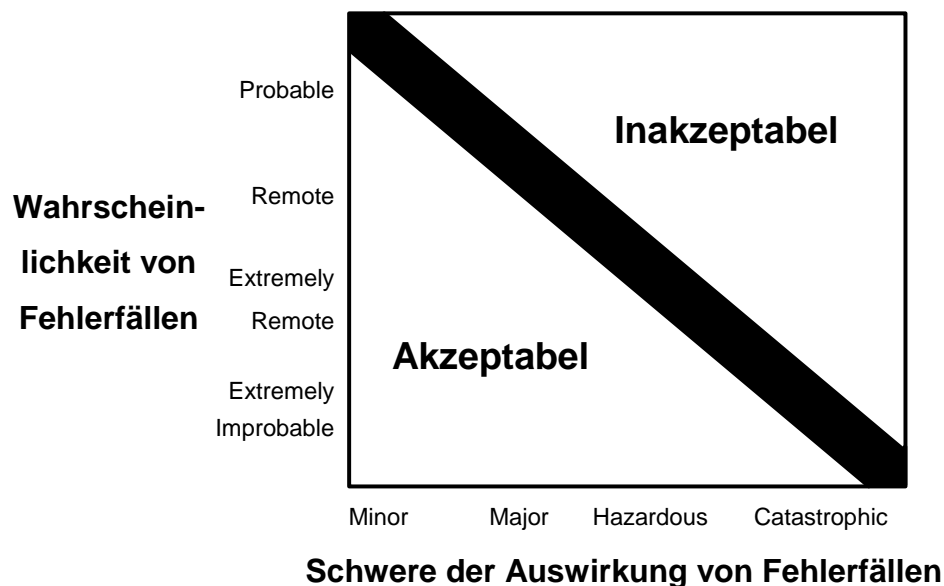


Abb. 2: Schwere von Fehlern gegen erlaubte Wahrscheinlichkeiten

Quelle: Nach [38] CS-25: Certification Specification and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes. Amendment 22, EASA: Köln 2018; S. 2-F-47.

¹² Nach [38] CS-25; S. 2-F-46.

Es ist zu beachten, dass diese Wahrscheinlichkeiten nur für nach CS-25 zuzulassende Luftfahrzeuge anzuwenden sind und Luftfahrzeuge, die nach anderen Bauvorschriften entwickelt sind, davon abweichende Wahrscheinlichkeitszahlen aufweisen können (siehe hierfür auch Kapitel 3.2).

Zum Nachweis dieses Paragraphen haben sich verschiedene Mittel bewährt, die auch im AMC aufgegriffen werden. So wird zur Identifikation und Einstufung von Fehlerfällen eine funktionale Gefährdungsanalyse (Functional Hazards Assessment, FHA) vor der eigentlichen Sicherheitsanalyse gefordert. Die FHA sollte schon früh im Entwicklungsprozess durchgeführt und falls nötig aktualisiert werden. Aus der FHA können auch die sog. „Development Assurance Level“ (DAL, dt. etwa Entwicklungssicherungslevel) abgeleitet werden, welche die im Entwicklungsprozess notwendigen Qualitätssicherungsmechanismen definieren und entwicklungstechnischen Fehlern vorbeugen sollen. Sie stellen einen prozessbasierten Ansatz dar und werden vor allem angewandt, wenn ein bestimmter Fehler nicht quantitativ nachgewiesen werden kann, weil bspw. die Menge der notwendigen Tests zur Abdeckung aller Auswirkungen zu groß wäre. Durch Anwendung der DAL soll Vertrauen aufgebaut werden, dass die Systementwicklung in einer angemessenen disziplinierten Art durchgeführt wurde, um die Wahrscheinlichkeit von die Luftfahrzeugsicherheit beeinflussender Entwicklungsfehlern, zu reduzieren. Je nach Auswirkung werden zur Sicherstellung der erlaubten Eintrittswahrscheinlichkeiten den Fehlerkategorien DALs zugeordnet, die einen gewissen Sorgfältigkeitsgrad repräsentieren. Dabei werden Minor-Fehler mit DAL D nachgewiesen, Major mit DAL C, Hazardous mit DAL B und Catastrophic mit DAL A. Diese Zuordnung gilt für alle CSs mit diesem Paragraphen, solange nicht anders ausgewiesen (bspw. unterteilt CS-23 nochmals in Flugzeugklassen, die teilweise über andere DAL-Zuordnungen verfügen). Die FHA stellt außerdem die Grundlage für das Preliminary SSA (PSSA) dar, woraus wiederum das SSA entwickelt wird. Das SSA dient als Nachweis der MoC 3.¹³

Der AMC liefert einige Analysemethoden zur Bewertung der Ursachen, Auswirkungen und Wahrscheinlichkeiten von Fehlerfällen aus der FHA. Diese können einzeln oder in Kombination angewendet werden, um die Übereinstimmung mit dem Paragraphen 1309 nachweisen zu können. Konkret werden folgende Methoden genannt: Designauswertung, Installationsauswertung, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA), Fehlerbaum- oder Abhängigkeitsdiagramm-Analyse, Markov-Analyse, Ursachenanalyse (zonale Sicherheitsanalyse, spezielle Risikoanalyse und Ähnlichkeitsanalyse) und Sicherheitsbewertungsprozess.¹⁴

¹³ Siehe [10] AeroAstro GmbH, Fleming, C.; Bad Waldsee: http://psas.scripts.mit.edu/home/wp-content/uploads/2014/03/Fleming_STPA_ARP4761_revA.pdf Stand: 27.04.2019; S. 5f.

¹⁴ Nach [38] CS-25; S. 2-F-60f.

Des Weiteren wird auf einige etablierte Industriestandards verwiesen, die diese Methoden näher erläutern und Handlungsanweisungen geben, um sie korrekt ausführen und ausreichende Nachweise erstellen zu können. Gängige im AMC aufgeführte Industriestandards sind die von Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA, amerikanisch) bzw. European Organization for Civil Aviation Equipment (EUROCAE, europäisch) entwickelte DO-160 bzw. ED-14G „Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment“, die von der Society of Automotive Engineers (SAE) herausgegebene „Aerospace Recommended Practice“ (ARP) 4754A bzw. EUROCAE ED-79A „Guidelines for development of civil aircraft and systems“ und die SAE ARP 4761 „Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment“.¹⁵ Weitere häufig genutzte Standards sind:

- SAE ARP 5150 „Safety Assessment of Transport Airplanes in Commercial Services“,
- SAE ARP 5151 „Safety Assessment of General Aviation Airplanes and Rotorcraft in Commercial Service“,
- RTCA DO-178C „Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification“,
- RTCA DO-254 „Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware“ und
- RTCA DO-297 „Integrated Modular Avionics (IMA) Development Guidance and Certification Considerations“.¹⁶

Diese Standards werden bei sorgfältiger Beachtung im Allgemeinen von Behörden als Nachweis der Übereinstimmung mit dem Paragraphen 1309 anerkannt. Durch die langjährige gute Erfahrung mit diesen Standards wenden die meisten Entwicklungsbetriebe diese auch an, da die Entwicklung eines neuen Standards sehr aufwendig ist und eine Anerkennung nicht gesichert ist. Die Standards ergänzen sich darüber hinaus auch in manchen Teilgebieten, sodass sich eine Standardlandschaft entwickelt, die eingehalten wird und schematisch in Abb. 3 zu sehen ist. Ein Überblick über den komplexen Sicherheitsbewertungsprozess der SAE ARP 4761A wird außerdem in Abb. 4 gegeben (weitere Abkürzungen: Common Mode Analysis (CMA), Particular Risk Assessment (PRA), Zonal Safety Analysis (ZSA), Aircraft Safety Assessment (ASA) und Preliminary ASA (PASA)).

¹⁵ Nach [38] CS-25; S. 2-F-40f.

¹⁶ Nach [8] Nikodem.

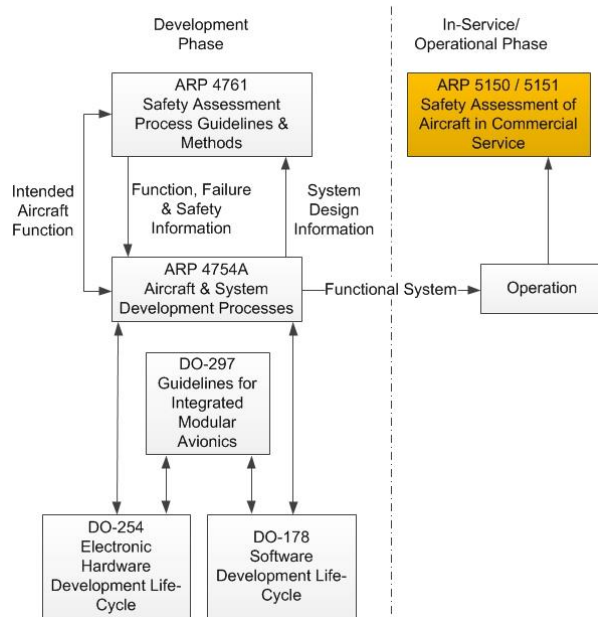


Abb. 3: Industriestandards für den Paragraphen 1309

Quelle: [8] Nikodem, F.; Dittrich, J. S.; Bierig, A.: The new specific operations risk assessment approach for UAS regulation compared to common civil aviation risk assessment. DLR, Braunschweig 2018; S. 3, nach [34] ARP 4754A: Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems. SAE Aerospace, Warrendale 2010.

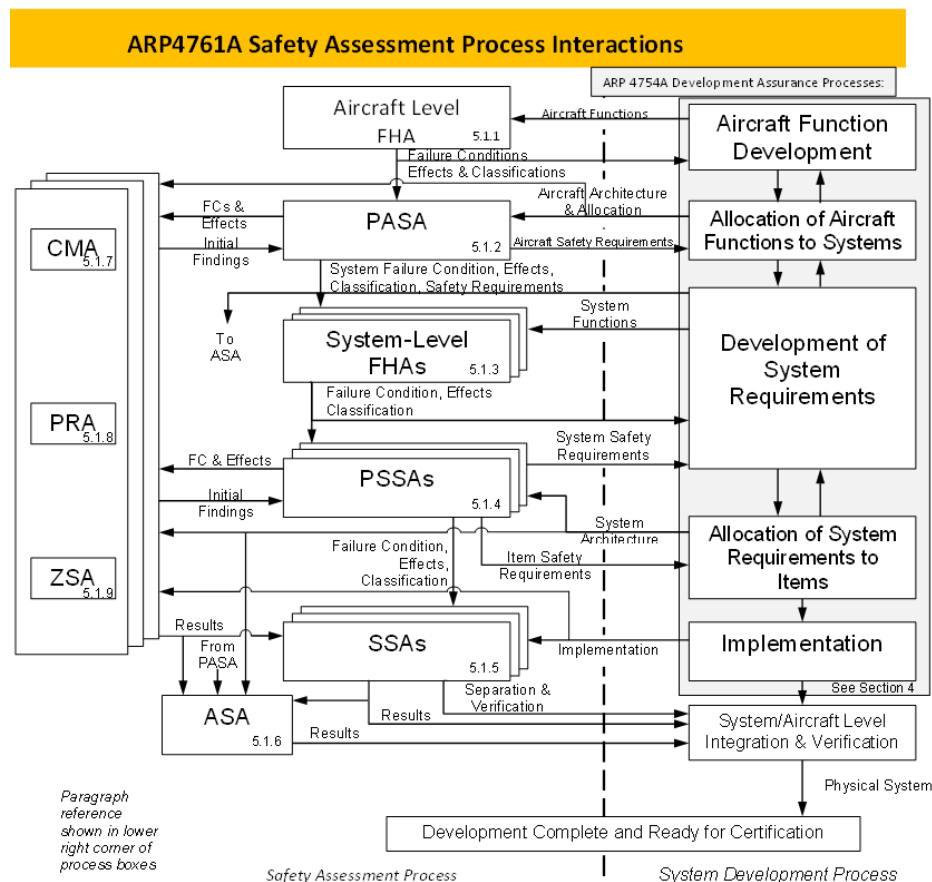


Abb. 4: SAE ARP 4761A Prozess, schematisch

Quelle: [27] Marko, J.; Ottawa: <https://aiac.ca/wp-content/uploads/2018/11/MARKO-JIM.pdf>

Stand: 27.04.2019, S. 5.

Eine Diskussion der kompletten Nachweisführung nach diesen oder auch anderen Standards würde hier zu weit gehen, weswegen das Schaubild lediglich die Komplexität veranschaulicht. Für weitere Details wird auf die Literatur verwiesen. Es soll jedoch erwähnt werden, dass die Erfüllung des Paragraphen 1309 alles andere als eine einfache Aufgabe ist. Die Erfahrungen aus der Musterprüfung des Luftfahrtamtes des Bundeswehr (LufABw) in diversen Projekten, der dort durchgeführten Ausbildung und die langjährige Erfahrung von Kollegen zeigen, dass es Zeit, einiges an Erfahrung und vor allem eine entsprechende Organisation braucht, um diesen Prozess durchführen und zur Zufriedenheit der Behörde abschließen zu können.

2.2 Unbemannte Luftfahrzeuge

Unbemannte Luftfahrzeuge können heute vielfach eingesetzt werden, sei es in der Landwirtschaft, zur Inspektion, zur Lieferung von Paketen, in der Medienindustrie u. v. m. Dabei können häufig Vorteile durch eine verringerte Gefährdung von Menschenleben bei gefährlichen Arbeiten – z. B. Wegfall von Industriekletterern, bei chemischen oder radioaktiven Untersuchungen –, durch neue Geschäftsmodelle oder höhere Effizienz erreicht werden.¹⁷ Gerade kleine und mittelständische Unternehmen können durch die immer günstiger werdenden unbemannten Fluggeräte stark profitieren. Gleichzeitig gibt es jedoch auch Bedenken gegenüber der recht neuen Technologie hinsichtlich Sicherheit, Privatsphäre, Datenschutz und Umweltbelastung. Bei der Schaffung einer einheitlichen Regelung gilt es also, diese Bedenken zu beseitigen und gleichzeitig dem Markt die Gelegenheit zu geben, sich voll entwickeln zu können. Gerade in der sehr stark reglementierten Luftfahrt ist dies eine große Herausforderung und es gilt zu beachten, dass viele Unternehmen mit der Nutzung unbemannter Fluggeräte neu in der Luftfahrt tätig sind. Diese Unternehmen und auch künftige Luftfahrt-Neulinge sollten nicht durch zu anspruchsvolle Regelungen am Markteintritt gehindert werden, wenn die potentielle Gefährdung, die von dem eingesetzten Gerät ausgeht, als eher niedrig eingestuft werden kann.¹⁸ Es scheint unangebracht, für ein System, das bereits für wenige hundert Euro erhältlich sein soll und dessen Risiko für die Allgemeinheit oder die bemannte Luftfahrt als gering eingestuft wird, eine umfängliche EASA-Zulassung zu verlangen. Folgende Darstellungen in Tabelle 1 und Abb. 5 zeigen die Ergebnisse einer Marktprognose von 2015 bis 2020 für unbemannte Fluggeräte mit einer MTOM von unter 25 kg von „MarketsandMarkets“ und sollen eine Idee über das Potential geben, das im Drohnenmarkt gesehen wird. CAGR bezeichnet dabei die kumulierte jährliche Wachstumsrate.

¹⁷ Siehe [1] Beck, M.: Dr. Drohne: Die Drohnen-Verordnung: Bewertung geplanter Normen zur Regulierung ziviler Drohnen anhand von ökonomischen Interessen und gesellschaftlichen Risiken.

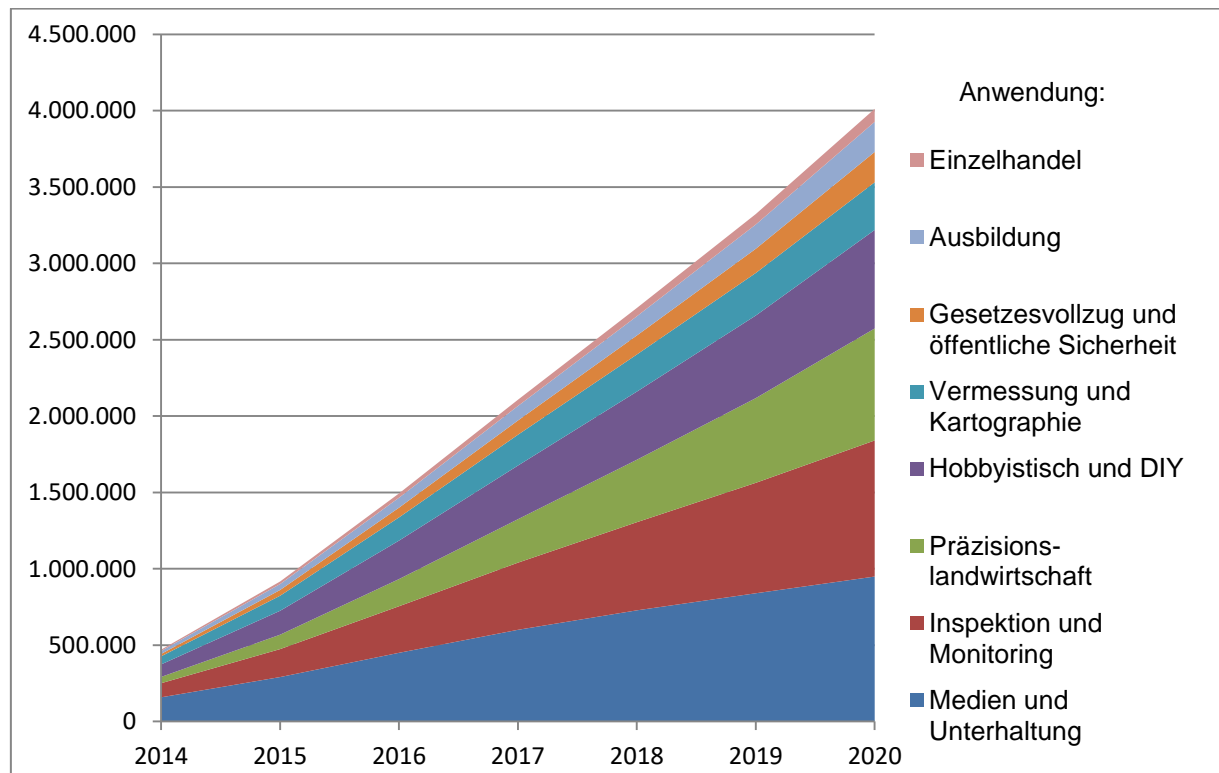
1. Auflage, Norderstedt: Books in Demand 2017; S. 59ff.

¹⁸ Siehe [44] NPA 2017-05 (B): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. Köln: EASA 2017; S. 8.

Tabelle 1: Globaler Drohnenmarkt nach Anwendung von 2015–2020 (in Mio. US-Dollar)

Anwendung	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR ('15-'20)
Medien und Unterhaltung	157.921	290.567	449.414	600.057	727.574	839.398	948.953	26,71%
Inspektion und Monitoring	92.533	183.036	304.970	439.683	577.203	723.215	891.135	37,24%
Präzisions-landwirtschaft	41.212	94.429	177.837	284.589	408.942	554.703	733.356	50,68%
Hobby und Eigenbau	81.872	156.499	252.050	351.389	446.223	541.018	645.275	32,75%
Vermessung und Kartographie	53.151	98.658	151.885	201.723	243.106	278.506	312.293	25,92%
Gesetzesvollzug und öffentliche Sicherheit	15.753	37.670	63.769	93.406	124.575	158.572	198.489	39,43%
Ausbildung	19.405	38.807	65.313	95.046	125.858	158.966	197.341	38,44%
Einzelhandel	8.331	16.662	28.054	40.849	54.130	68.429	85.031	38,54%
Gesamt	470.176	916.329	1.493.290	2.106.742	2.707.611	3.322.807	4.011.873	34,36%

Quelle: Nach [44] NPA 2017-05 (B): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. Köln: EASA 2017; S. 9.

**Abb. 5: Globaler Drohnenmarkt nach Anwendung von 2015–2020 (in Mio. US-Dollar)**

Quelle: Eigene Darstellung nach [44] NPA 2017-05 (B): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. Köln: EASA 2017; S. 9.

Eine andere Studie mit einem etwas größeren Horizont wurde 2016 von der Single European Sky ATM (Air Traffic Management) Research (SESAR) Joint Undertaking (SJU) durchgeführt und prognostiziert bis 2035 ein Marktvolumen von über 10 Milliarden Euro und bis 2050 von über 15 Milliarden Euro allein in Europa. Außerdem stellt die Studie dar, dass die Drohnen-industrie in Europa zwischen 250.000 und 400.000 neue Jobs schaffen könnte.¹⁹ Durch den verhältnismäßig geringen Preis selbst für semi-professionelle Geräte ist die Stückzahl außerdem deutlich höher als in der bemannten Luftfahrt üblich. So stellt bspw. [1] Beck 2017 heraus, dass die Jahresproduktion von Drohnen einer einzigen chinesischen Firma – DJI, Marktführer zum Zeitpunkt der Veröffentlichung – höher ist, als die gesamte bisherige weltweite Produktion von zivilen Flugzeugen.²⁰

Die Wichtigkeit und Dringlichkeit einer einheitlichen Regelung für Drohnenanwendungen ist nach diesen Marktprognosen offensichtlich. Während der Regelungsraum für bemannte Luftfahrt in langen Jahren gewachsen und inzwischen durchaus etabliert ist, sieht es bei unbemannten Luftfahrzeugen anders aus. Gemäß der „Regulation (EC) No 216/2008“ oblag die Zulassung und Genehmigung von Einsätzen unbemannter Luftfahrzeuge mit einer MTOM unter 150 kg bis 2015 den einzelnen Mitgliedsstaaten.²¹ Zur Zulassung von unbemannten Systemen über 150 kg hat die EASA am 25.08.2009 ein Policy Statement über das Lufttüchtigkeitszertifikat von UAS basierend auf dem Annex I Teil 21 herausgegeben. Der sehr starke Anstieg der zivilen Nutzung von Drohnen vor allem unter einem MTOM von 150 kg, die eine Regulation notwendig machten, einerseits und das Fehlen einer EU-weiten Regelung andererseits führten zu einer sehr fragmentierten Regelungslandschaft. Dies beginnt schon bei der Bezeichnung: Ob von Drohnen (engl. Drones), unbemannten Luftfahrzeugsystemen (ULfzSys), UAV oder UAS (Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aircraft System) oder RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) die Rede ist – gemeint ist in den meisten Fällen dasselbe, wobei es rein definitionsgemäß durchaus Unterschiede zwischen den Bezeichnungen gäbe. In dieser Arbeit werden die inzwischen auch in der EASA etablierten Abkürzungen UA für das unbemannte Fluggerät selbst und UAS für das UA inkl. aller für den sicheren Betrieb notwendigen Geräte und Systeme wie C2-Link (Link für Command and Control) und Bodenkontrollstation (Ground Control Station, GCS) verwendet. Durch diese unterschiedlichsten Regularien der einzelnen Mitgliedsstaaten der EU werden grenzübergreifende Einsätze stark erschwert und ein UAS, das in einem Land zugelassen ist, kann im Nachbarland verboten sein. Dies kann zu großen Herausforderungen und hohen Kosten sowohl für Betreiber als auch Entwickler und Hersteller von UAS führen. Um dem entgegenzuwirken wird von der EASA eine neue Regulation mit einer CS-UAS, AMCs und GM

¹⁹ Nach [44] NPA 2017-05 (B); S. 12.

²⁰ Nach [1] Beck; S. 76.

²¹ Siehe [43] NPA 2017-05 (A): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. Köln: EASA 2017; S. 1.

ausgearbeitet.²² Aufgrund der Dringlichkeit der Vereinheitlichung durch den schnell wachsenden Markt wurden bereits im Juli 2015 die „Advanced Notice of Proposed Amendment“ (A-NPA) 2015-10 und im Dezember 2015 eine „Technical Opinion“ veröffentlicht. Diese enthalten ein generelles Konzept zur Regulierung von UAS in drei auf dem erwarteten Risiko basierenden Kategorien mit abgestuften Härtegrad der Anforderungen: Offen, Spezifisch und Zertifiziert.²³ Diese Kategorisierung soll dem Umstand Rechnung tragen, dass es bei UAS starke Unterschiede in der Größe, der Performance und der Komplexität gibt und die damit durchgeführten Einsätze sehr verschieden sein können. Gemäß den Marktbedürfnissen wird zunächst ein Regelungsraum für die ersten beiden Kategorien erarbeitet, in welche die meisten heutigen Einsätze fallen dürften. Ein Regelungsrahmen für die Kategorie „Zertifiziert“ wird anschließend entwickelt, bis dahin müssen zertifizierungspflichtige UAS nach anwendbaren CSs zugelassen werden, die durch sog. „Special Conditions“ für die Eigenheiten von UAS ergänzt werden (mehr dazu siehe Kapitel 2.2.3).²⁴

Der gewöhnliche Weg zu einer neuen Regulation ist in Abb. 6 dargestellt und wird mit der Erarbeitung einer sog. „Notice of Proposed Amendment“ (NPA) eingeleitet. In diesem Fall wurde für die Kategorien „Offen“ und „Spezifisch“ die NPA 2017-05 am 04.05.2017 veröffentlicht, die aus einer „Prototypenregelung“ vom August 2016 entwickelt wurde. Diese kann dann durch Stakeholder kommentiert werden und die Kommentare können in einer EASA-„Opinion“ berücksichtigt werden. Diese Opinion No 01/2018 wurde am 06.02.2018 veröffentlicht und stellt den aktuellen Stand des Prozesses zur neuen Regelung dar. Die Opinion wird anschließend der Europäischen Kommission vorgeschlagen, die sie in „Implementing Rules“ umsetzt. Dies war für das vierte Quartal 2018 vorgesehen, jedoch gibt es offensichtlich Verzögerungen. Zuletzt werden entsprechende Bauvorschriften, AMCs und GM veröffentlicht.²⁵

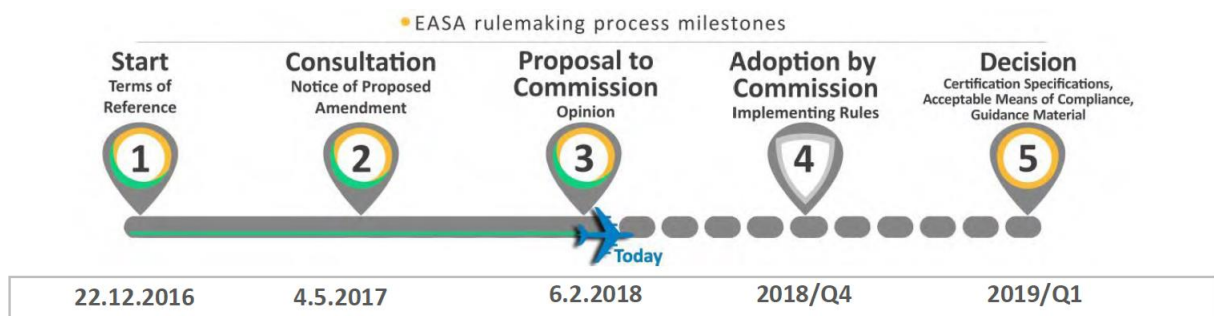


Abb. 6: EASA Prozess zur Erarbeitung der UAS-Regelung für „Offen“ und „Spezifisch“

Quelle: [45] Opinion No 01/2018: Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the ‘open’ and ‘specific’ categories. Köln: EASA 2018; S. 1.

²² Siehe [30] UAV DACH e.V.; Braunschweig: <https://www.uavdach.org/?p=3322> Stand: 27.04.2019.

²³ Siehe [20] Giemulla, E. M.; Berlin: <https://www.kolloquium-flugfuehrung.de/wp/wp-content/uploads/2016/03/Giemulla.pdf> Stand: 27.04.2019; S. 4ff.

²⁴ Siehe [16] EASA; Köln: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas> Stand: 27.04.2019.

²⁵ Ebenda.

Unterstützt wird die EASA in ihren Bestrebungen nach einer einheitlichen Regelung u. a. von „Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems“ (JARUS), einer Expertengruppe aus nationalen Luftfahrtbehörden und regionalen Luftsicherheitsorganisationen aus 59 Ländern, sowie Experten der EASA und von EUROCONTROL. Außerdem wird JARUS seit Ende 2015 vom „Stakeholder Consultation Body“ unterstützt, der alle Industrieinteressen repräsentiert.²⁶ Ziel von JARUS ist es, weltweit einheitliche Richtlinien und Vorgaben zur Integration von UAS in den zivilen Luftraum unter Beibehaltung des hohen Sicherheitslevels der internationalen Luftfahrt zu etablieren und eine entsprechende Emanzipation von UAS zu ermöglichen. Die EASA wird die Vorschläge von JARUS, bspw. die CSs und AMCs (insbesondere [31] AMC RPAS.1309 von 2015, näheres siehe in Kapitel 3.2), voraussichtlich als Grundlage eigener Regularien verwenden. Auch das SORA als nachhaltiges und objektiv-transparentes Bewertungstool wurde von JARUS entwickelt, hierzu mehr in Kapitel 3.1.²⁷ Ziel des Prozesses ist ein operationszentrierter, angemessener, risiko- und performance-basierter Regelungsraum, der ein hohes und einheitliches Sicherheitslevel gewährleisten, die Entwicklung des UAS-Marktes fördern und zur Verbesserung der Privatsphäre, des Datenschutzes und der Sicherheitslage beitragen soll.²⁸

Ein weiterer Akteur in diesem Umfeld, der an dieser Stelle jedoch nur kurz erwähnt werden soll, ist SJU mit dem Projekt SESAR, das ein einheitliches ATM-System für Europa entwickeln und den Luftverkehr effizienter und sicherer machen soll.²⁹ Auch hier hat man die Möglichkeiten künftiger Nutzung des Luftraums durch UAS erkannt und versucht daher, deren Eigenheiten für den kontrollierten Luftraum mit zu berücksichtigen. Außerdem wird bei SESAR an einem „Unmanned Traffic Management“, kurz UTM oder auch U-Space, gearbeitet, das eine Art ATM speziell für UAS darstellen und auch für den bisher unkontrollierten Luftraum nutzbar sein soll. Konkret soll U-Space ein Set neuer Services und spezifischer Prozeduren beschreiben, um den sicheren, effizienten und gesicherten Zugang einer großen Anzahl UAS zum allgemeinen Luftraum und den Betrieb von UAS in sehr niedrigem Luftraum zu unterstützen. U-Space kann für zivile UAS aller Größenordnungen von großem Vorteile sein, zurzeit ist das System jedoch noch in einem sehr frühen Stadium, sodass es in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt wird. Die folgende Betrachtung der UAS-Regelungen bezieht sich daher vorwiegend auf die bereits veröffentlichten Regelungsentwürfe von EASA und JARUS.

²⁶ Siehe [24] JARUS: <http://jarus-rpas.org/who-we-are> Stand: 27.04.2019.

²⁷ Siehe [4] Beck, M.: SORA: Das Risikomanagement für Drohnen. In: Drohnenmagazin, 4/2017, S. 52ff.

²⁸ Siehe [24] JARUS.

²⁹ Siehe [28] SESAR Joint Undertaking; Brüssel: <https://www.sesarju.eu/discover-sesar> Stand: 27.04.2019.

Während in der bemannten Luftfahrt der Schutz von Personen an Bord im Vordergrund steht, ist dieser Ansatz für unbemannte Systeme aus naheliegenden Gründen ungeeignet und einige traditionelle Methoden der bemannten Luftfahrt werden obsolet. Wegen der wachsenden Anzahl potentieller Anwendungsfälle, die heute noch übersichtlich sein mag, deren letztlisches Ausmaß jedoch schwer abzuschätzen ist, muss eine neue Regelung sehr flexibel sein. Der Ansatz, der daher von der EASA angestrebt wird, basiert auf dem potentiellen Risiko des konkreten Einsatzes. Zu diesem Zweck wurde in der bereits oben erwähnten A-NPA 2015-10 und der Technical Opinion eine Aufteilung der Drohneneinsätze in drei Kategorien mit abgestuften Zulassungsvoraussetzungen festgelegt.³⁰ Die Kategorien unterscheiden sich im Wesentlichen durch das Risiko, das sie bei Fehlfunktionen und/oder falschem Gebrauch für unbeteiligte Personen am Boden oder andere Luftraumnutzer darstellen.³¹ Grundlage der Kategorisierung ist das sog. „Concept of Operations“ (ConOps), das den gewünschten Betrieb und das durch ihn verursachte Risiko vor Anwendung von Mitigationen hinsichtlich der Sicherheit im Wesentlichen gegenüber Personen am Boden, anderen Luftraumnutzern und kritischer Infrastruktur beschreibt. Es enthält Informationen zum Einsatzgebiet am Boden und in der Luft, zum Fluggerät, zur allgemeinen Einsatzart sowie zu Kenntnissen und Vorbereitungen der durchführenden Personen. Weiterhin enthält es andere Faktoren (bzgl. überflogenen Besitztümern, Privatsphäre, Sicherung und Umwelt), die jedoch für die Kategorisierung nicht relevant sind und national entschieden werden müssen.³² Das unmitigiertes Sicherheitsrisiko bestimmt die Kategorie nach Abb. 7, hier entspricht Kategorie A der offenen, B der spezifischen und C der zertifizierten Kategorie. Es ist zu beachten, dass durch die Fokussierung auf die ConOps dasselbe UAS bei einem anderen Einsatz in eine andere Kategorie fallen kann. Im Folgenden werden die Anforderungen zur Genehmigung in jeder Kategorie dargestellt.

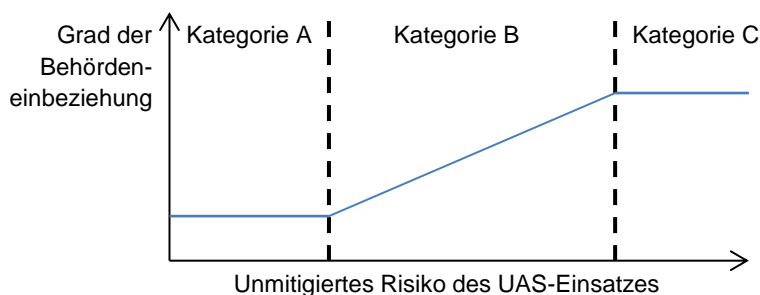


Abb. 7: Risiko von UAS-Einsätzen gegen Einbeziehungsgrad der Behörden

Quelle: Nach [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018; S. 14.

³⁰ Siehe auch [14] DroneRules.eu; Brüssel:

http://dronerules.eu/de/professional/eu_regulations_updates Stand: 27.04.2019.

³¹ Siehe [19] FAA UAS Symposium; Baltimore: https://www.faa.gov/uas/resources/events_calendar/archive/2018_uas_symposium/media/risk-mitigation-in-uas-operations.pdf Stand: 27.04.2019; S. 8.

³² Siehe [3] Beck, M.: Drohnen Guide Band 2 – Risikomanagement für zivile Drohnen & SORA. 1. Auflage, Egelsbach: R. Eisenschmidt GmbH 2018; S. 25.

2.2.1 UAS der Kategorie „offen“

Die Kategorie mit den risikoärmsten Einsätzen ist die Kategorie „offen“. Das Risiko dieser Einsätze wird als so gering angenommen, dass keine besondere Genehmigung notwendig ist oder nur ein Minimalmaß an Nachweisen erbracht werden muss. Eine richtige „Zulassung“ im luftfahrtrechtlichen Sinne gibt es hier nicht.³³ Eine Verringerung des Risikos ist nur mit operationellen Einschränkungen wie der Höhe, dem Einsatzgebiet oder der Geschwindigkeit möglich. UAS der offenen Kategorie dürfen überdies nur in Sichtweite ohne Hilfsmittel (Visual Line of Sight; VLOS) betrieben werden und der jeweilige UAS-Nutzer ist für den sicheren Betrieb verantwortlich.³⁴ Es ist zwischen dem „Nutzer“ und „Piloten“ zu unterscheiden: Der Pilot ist derjenige, der die Kontrolle über ein oder mehrere UAS hat, ein Nutzer kann hingegen auch eine Organisation sein, die mehrere Piloten beschäftigt.³⁵ Sind weitere Personen direkt am Einsatz beteiligt, z. B. Luftraumbeobachter und Personal zur Absperrung des Bodengebiets, wird in dieser Arbeit vereinfachend zusammengefasst von „Crew“ gesprochen, auch wenn ein UAS keine Crew im klassischen Sinne besitzt. So kann bspw. eine Firma als UAS-Nutzer die Inspektion von Windkraftanlagen anbieten, während die bei ihr beschäftigten Crews mit ihren Piloten den Einsatz durchführen. Die offene Kategorie ist prinzipiell für Nutzer von UAS bis zu einer MTOM von 25 kg anwendbar. Die Wichtigkeit der offenen Kategorie kann in Abb. 8 abgelesen werden, wobei nur die Anzahl der UAS-Typen und nicht die Stückzahl dieser Systeme betrachtet wird.

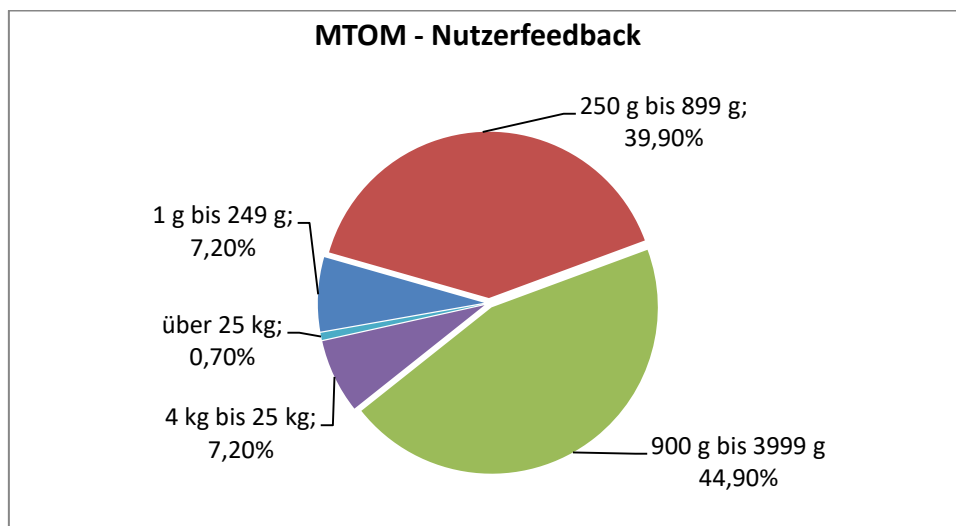


Abb. 8: Prozentuale Aufteilung verschiedener UAS-Muster nach Gewicht

Quelle: Nach [44] NPA 2017-05 (B): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. EASA: Köln 2017; S. 10.

³³ Siehe [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018; S. 17.

³⁴ Ebenda; S. 19ff.

³⁵ Siehe [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; S. 15f.

Nahezu nachweisfrei sind dabei UAS mit einer MTOM von bis zu 250 g, während in den höheren Gewichtsklassen bereits einige Forderungen an eine Risikominderung des Betriebs gestellt werden.³⁶ Um in dieser Kategorie ein akzeptables Sicherheitslevel zu erreichen, wird ein Performance-basierter Ansatz mit operationellen Einschränkungen, Einhaltung von Industriestandards und ohne oder mit minimaler Einbeziehung von Luftfahrtbehörden gewählt. Selbst von einer Registrierung dieser kleinen UAS wird häufig abgesehen, da es unangebracht erscheint, jede Spielzeugdrohne registrieren zu lassen, zumal deren geschätzte erwartete Lebensdauer lediglich 30 Monate beträgt.³⁷ Eine solche Vorgehensweise hat sich bereits in einigen Ländern bewährt und der klassische Ansatz aus der bemannten Luftfahrt wäre für eine Vielzahl von Anwendungen mit einem dem Risiko gegenüber unverhältnismäßigem Aufwand verbunden und für Luftfahrt-Laien missverständlich. Außerdem würden unangemessene oder übertriebene Forderungen illegale Einsätze fördern, die aufgrund der Vielzahl von Klein- und Kleinst-UAS, die bereits auf dem Markt sind, nicht unterbunden werden könnten.³⁸ Typische Beispiele von UAS der offenen Kategorie sind kleine Mikro-UAS mit eingeschränkten Fähigkeiten, Vergnügungs-UAS – meist leichte Multicopter, optional mit Kamera –, mittelschwere UAS zur professionellen Anwendung in risikoarmer Umgebung, bspw. Begutachtung kritischer Infrastruktur in niedriger Höhe, und Modellflugzeuge. Vor allem für letztere wurde die Gewichtsgrenze auf 25 kg angehoben, da professionelle Modellflugzeuge dieses Gewicht durchaus erreichen können.³⁹ Hier ist eine wesentliche Mitigation durch den zuständigen Modellflugverein erbracht, der den Flug und die Einhaltung des erlaubten Luftraums überwacht.

Falls erforderlich können Staaten eigenständig auch „No-Flight-Zones“ definieren, um das Risiko durch UAS zu verringern. Im Bereich von Flughäfen wird dies bereits vermehrt durchgeführt, allerdings mangelt es derzeit noch an der Durchsetzung dieses Verbots. Im Jahr 2016 fanden in Deutschland 91 % der Behinderungen der bemannten Luftfahrt durch UAS im Großraum eines Flughafens statt.⁴⁰ Flugbeschränkungsgebiete für UAS können sehr frei definiert werden, sodass auch Sicherheits- oder Privatsphärengründe herangezogen werden können. Weiterhin muss beim Betrieb von UAS die Nähe zu unbeteiligten Dritten am Boden berücksichtigt werden und Nutzer sollten sich des Risikos des Einsatzes und der damit übernommenen Verantwortung bewusst sein. Bei weiteren Mitigationen stößt die Regelung schnell an Grenzen, da diese in Relation zum tatsächlichen Nutzen und dem Preis des Gesamtsystems betrachtet werden müssen. Es sollen für UAS der offenen Kategorie weder Lufttüchtigkeitsnachweise noch Lizenzen für Betreiber und Piloten erforderlich sein.

³⁶ Siehe [45] Opinion No 01/2018: Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the 'open' and 'specific' categories. Köln: EASA 2018; S. 18ff.

³⁷ Siehe [44] NPA 2017-05 (B); S. 47.

³⁸ Siehe [49] UAS OPS; S. 19.

³⁹ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); S. 6, 9ff.

⁴⁰ Siehe [44] NPA 2017-05 (B); S. 59.

Aufgrund der großen Bandbreite von UAS dieser Kategorie – mit MTOMs unter 250 g, die ein sehr geringes Risiko darstellen können, bis zu MTOMs von 25 kg, die bei einem Unfall durchaus zu Personen- und Sachschaden führen können – wird sie nochmals in drei Unterkategorien mit fünf Klassen eingeteilt, inkl. Berücksichtigung von Eigenbauten. Die Abgrenzung der Unterkategorien erfolgt nach Art des Einsatzes, des genutzten UAS und der Kompetenz des Piloten gem. Tabelle 2 eingeteilt.

Tabelle 2: Einteilung innerhalb der Kategorie "Offen"

Einsatzart		Pilotenkompetenz (Alter nach jew. Staatsrecht)	UAS				UAS Nutzer Registrierung
Unterkategorie	Einsatzgebiet (fern von Flugplätzen, max. Höhe 120 m)		Klasse	MTOM/ Joule (J)	Techn. Hauptanforderung (CE-Kennzeichnung)	Elektronische ID/ „Geo Awareness“	
A1 Flug über Personen	Flug über unbeteiligten Personen erlaubt (nicht über Gruppen)	Verbraucherinformation des UAS	Eigenbau	< 250 g	-	Nein	Nein
			C0		Verbraucherinformation, Spielszeugsicherheit oder < 19 m/s, keine scharfen Kanten, Höhenlimit einstellbar		
		Verbraucherinformation des UAS, Online-Training, Online-Test	C1	< 80 J oder < 900 g	Verbraucherinformation, < 19 m/s, kinetische Energie, mechanische Stärke, Link-Verlust-Management, keine scharfen Kanten, Höhenlimit einstellbar	Ja + eigene Seriennummer zur Identifikation	Ja
A2 Flug in der Nähe von Personen	Flug in sicherer Entfernung von unbeteiligten Personen	Verbraucherinformation des UAS, Online-Training, Online-Test, Theorie-Test in einer anerkannten Stelle	C2	< 4 kg	Verbraucherinformation, mechanische Stärke, keine scharfen Kanten, Link-Verlust-Management, Höhenlimit einstellbar, Zerschlagbarkeit, Low-Speed-Modus		
A3 Flug entfernt von Personen	- Flug in einem Gebiet, in dem vertretbar angenommen werden kann, dass keine Unbeteiligten gefährdet werden - Einhalten eines sicheren Abstandes zu urbanen Gebieten	Verbraucherinformation des UAS, Online-Training, Online-Test	C3	< 25 kg	Verbraucherinformation, Link-Verlust-Management, Höhenlimit einstellbar, Zerschlagbarkeit		
			C4		Verbraucherinformation, kein automatischer Flug		
			Eigenbau		-		

Quelle: Nach [45] Opinion No 01/2018: [Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the 'open' and 'specific' categories](#). Köln: EASA 2018; S. 21.

Hierbei beruhen die technischen Forderungen vor allem auf der CE-Kennzeichnung, die deutlich weniger strikt ist als Teil 21 der EASA. Hersteller müssen lediglich mit den produkt-spezifisch geltenden gesetzlichen Mindestanforderungen der EU für das CE-Label übereinstimmen, welche vielen Herstellern vor allem kleiner UAS deutlich vertrauter sind als Teil 21⁴¹, bspw. benötigen heutige Modellflugzeuge bereits CE-Label⁴². Die Einteilung nach Tabelle 2 soll durch eine Nutzer-Registrierung ab 900 g neben der Sicherstellung eines ausreichenden Sicherheitslevels auch Sicherungs- und Privatsphärenbedenken mindern. Eine eigene Registrierung des UAS ist in der offenen Kategorie nicht notwendig. Außerdem müssen UAS, wenn es für das spezifische Einsatzgebiet notwendig ist oder sie mit Sensoren, die persönliche Daten aufzeichnen können, ausgestattet sind, über elektronische Identifikationsmittel verfügen. Registrierungsinformationen, wo vorhanden, müssen mit einer feuerfesten Plakette an dem UAS angebracht werden. Des Weiteren muss der Pilot bei UAS mit einem MTOM über 250 g mindestens ein Online-Training absolvieren, das neben luftfahrtrechtlichen Themen und der Sicherheit im Luftverkehr auch relevante Sicherungs-, Privatsphären- und Datenschutz-Regelungen der EU enthält.⁴³ Für die Einteilung wichtig ist noch der Begriff der „Unbeteiligten Person“: Hier wird angenommen, dass eine Person, die konkret über den Einsatz informiert wurde und diese Belehrung mit ihrer Unterschrift bestätigt, als „beteiligt“ gilt. Alle anderen Personen gelten demnach als „unbeteiligt“. Die „sichere Entfernung“, wie in Unterkategorie A2 gefordert, bestimmt sich aus der „1:1-Regel“. Diese besagt, dass der minimale seitliche Abstand der Höhe des UAS über Grund (Above ground level, AGL) entspricht. Eine Ausnahme hiervon ist der „Low-Speed“-Modus, der es ermöglicht, bei einer maximalen Geschwindigkeit von 3 m/s mit einem minimalen seitlichen Abstand von 5 m zu unbeteiligten Personen zu operieren.⁴⁴ Weiter bedeutet die Forderung nach „Zerbrechlichkeit“, dass das UAS im Falle eines Aufschlages eine große Menge seiner kinetischen Energie über seine Zerstörung verliert und dieser somit weniger gefährlich ausfällt. Der Begriff „Geo Awareness“ ersetzt die in [43] NPA 2017-05 (A) noch vorhandene harte Forderung nach „Geo Fencing“, einem System, welches automatisch verbotene Flugbereiche erkennt und einen Einflug verhindert. Grundlage sind hierbei von der jeweiligen nationalen Luftfahrtbehörde definierte Gebiete mit Luftverkehrsbeschränkungen für UAS, welche von Geo Fencing Systemen automatisch geladen werden können. Geo Awareness hebt die harte Forderung nach einem solchen System auf, fordert aber ein Bewusstsein für das Einsatzgebiet und die Gefahren, die der UAS-Einsatz auslösen kann. Um dies zu erreichen können Geo Fencing Systeme, aber auch andere Systeme oder Prozeduren genutzt werden.⁴⁵

⁴¹ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); S. 7.

⁴² Ebenda; S. 9.

⁴³ Ebenda; S. 8.

⁴⁴ Siehe [45] Opinion No 01/2018; S. 18.

⁴⁵ Ebenda; S. 27.

Da Modellflugzeuge per Definition unbemannte Luftfahrzeuge darstellen, sollen auch diese mit dem neuen Ansatz einheitlich reglementiert werden. Sie sind der Hauptgrund für die MTOM-Grenze von 25 kg, da diese Gewichtsklassen bei Modellflugzeugen nicht unüblich sind – bei einer Fehlfunktion können sie jedoch bereits erheblichen Schaden an Personen oder Strukturen anrichten. Vor allem durch den Flug über ausgewiesenen Modellflugplätzen und der Organisation in operationell autorisierten Vereinen kann häufig die wenig aufwendige Klasse C4 angewandt werden, sodass der Modellflugbetrieb nur gering eingeschränkt werden dürfte.⁴⁶

Neben der Einteilung nach Tabelle 2 und den daraus ableitbaren Forderungen für die einzelnen Kategorien gelten auch für die offene Kategorie einige generelle Regeln, die zunächst in [43] NPA 2017-05 (A) und angepasst in [45] Opinion No 01/2018 in einer Entwurfsregelung ähnlich einer CS aufgeführt sind. Hier wird für die offene Kategorie nochmals festgehalten, dass der Nutzer für den sicheren Betrieb und die Einhaltung der Regelungen verantwortlich ist. Außerdem werden konkret der autonome Betrieb, der Betrieb außerhalb VLOS (Beyond Visual line of Sight, BVLOS) und die gleichzeitige Bedienung mehrerer UAS durch einen Piloten verboten. Aufgrund der meist deutlich schnelleren Reaktionsfähigkeit dieser UAS gegenüber den anderen Luftverkehrsteilnehmern gilt für die offene Kategorie eine generelle Ausweichpflicht. Neben den allgemeinen werden Regeln für die einzelnen Klassen definiert und für jede ein Label eingeführt, das auf dem UAS angebracht sein muss (Beispiel für Klasse C0 siehe Abb. 9). Tabelle 2 liefert hier bereits eine gute Zusammenfassung, es werden aber auch einige zusätzliche Forderungen für die einzelnen Klassen dargelegt, wie z. B. Lichter am UAS, Anforderungen für einen „Follow-Me“-Modus oder was in den Verbraucherinformationen abgebildet sein muss.⁴⁷ Auf die einzelnen Klassen wird hier nicht näher eingegangen.

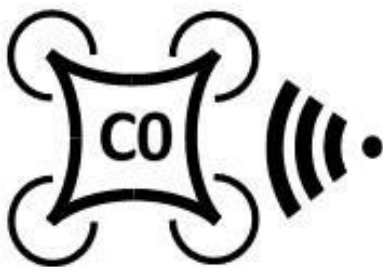


Abb. 9: Label für UAS der Klasse C0

Quelle: [43] NPA 2017-05 (A): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. Köln: EASA 2017; S. 49.

⁴⁶ Siehe [45] Opinion No 01/2018; S. 14.

⁴⁷ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); ab S. 49.

Außerdem werden einige Anforderungen an Geo Fencing und die elektrische Identifikationsfähigkeit definiert, die eingehalten werden müssen, wenn sie vorhanden sind. Zum Geo Fencing wird vor allem festgelegt, welche Informationen dem Piloten angezeigt werden müssen und dass es gültig sein muss. Zur elektronischen Identifikation werden die Daten festgelegt, die in Echtzeit übermittelt werden müssen: UAS-Nutzer und UA-Registrierung, Klasse und Typ des UAS-Einsatzes, Status des Geo Fencing, geographische Position und Höhe AGL.⁴⁸ Diese beiden Regelungen können auch für UAS außerhalb der offenen Kategorie gefordert werden.

2.2.2 UAS der Kategorie „spezifisch“

UAS-Einsätze, die nicht nach Tabelle 2 einer der offenen Unterkategorien zugeordnet werden können oder deren ConOps den generellen Bestimmungen der offenen Kategorie widersprechen, können als „spezifisch“ eingestuft werden. Beispiele sind BVLOS-Einsätze, gleichzeitiger Einsatz von mehreren UAS, autonomer Betrieb, Einsätze über Personen jenseits der Grenzen der offenen Kategorie oder wenn Dinge vom UAS fallen gelassen werden sollen. Prinzipiell gibt es bei dieser Kategorie anders als bei der offenen keine harten Grenzen, aber je risikoreicher der Einsatz, desto mehr Aufwand muss für die Risikominderung betrieben werden. Das führt dazu, dass es je nach UAS und ConOps wirtschaftlicher sein kann, den Einsatz in die Kategorie „zertifiziert“ zu verorten. Es ist jedoch zu beachten, dass für zertifizierte UAS eine Musterzulassung notwendig ist und somit abgewogen werden muss, ob diese Kategorie angestrebt werden soll (mehr dazu in Kapitel 2.2.3).

In der spezifischen Kategorie sind neben den operationellen Einschränkungen zur Risikominderung auch operationelle Nachweise und Design-Nachweise und -Features möglich. Das Erreichen eines akzeptablen Risikolevels bedarf in dieser Kategorie einer Risikobewertung des Einsatzes, hier kann das von JARUS speziell dafür entwickelte SORA angewandt werden.⁴⁹ Dabei lässt sich SORA als typisches Risikomanagementwerkzeug mit einem Kreislauf aus Erkennen, Bewerten, Minimieren und Kontrolle des Risikos beschreiben.⁵⁰ Nicht nur die Ergebnisse, sondern der gesamte Prozess sollte außerdem entsprechend dokumentiert werden, um den anhaltenden Sicherheitslevel zu gewährleisten.⁵¹ Kann der nationalen Luftfahrtbehörde ein ausreichender Sicherheitslevel nachgewiesen werden, wird von ihr eine Einsatzerlaubnis erteilt; eine klassische „Zulassung“ gibt es auch in dieser Kategorie nicht. Es wird davon ausgegangen, dass sich die meisten Einsätze ihrer Art nach ähneln werden. Daher werden sich einige sog. „Standardszenarien“ etablieren, für die eine

⁴⁸ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); S. 47.

⁴⁹ Ebenda; S. 42f.

⁵⁰ Siehe [3] Beck; S. 12.

⁵¹ Siehe [13] Drone Industry Insights UG; Hamburg: <https://www.droneii.com/uas-safety-risk-assessment> Stand: 27.04.2019.

vereinfachte Genehmigung eingeholt werden kann. Diese können prinzipiell von jeder rechtlichen Person vorgeschlagen werden. Dabei kann man sich entweder an die nationale Luftfahrtbehörde wenden, die das Standardszenario national für gültig erklären kann, oder über die nationale Luftfahrtbehörde ein AltMoC bei EASA beantragen, das europaweit gültig ist. EU-Gesellschaften können EASA direkt Standardszenarien vorschlagen, die dann in einem AMC umgesetzt werden können und in allen Mitgliedsstaaten gültig sind.⁵² Ein Dokument namens „EU-STS“ soll EU-weite Standardszenarien sammeln. Soll ein Einsatz durchgeführt werden, der einem Standardszenario weitgehend entspricht, ist lediglich nachzuweisen, dass die operationellen Bedingungen, Voraussetzungen (Nutzerstruktur, Training und technische Aspekte) und Einschränkungen sowie Grenzen und Regeln des Szenarios eingehalten werden.⁵³ Standardszenarien stellen somit ebenfalls AMCs für die Sicherheitsbewertung gem. UAS.SPEC.40 (siehe unten) dar. Das ist vor allem für Unternehmen von Vorteil, die sich auf eine Art von Einsätzen spezialisieren. Es soll künftig außerdem möglich sein, Privilegien ähnlich wie in der bemannten Luftfahrt zu vergeben – dort können entsprechend privilegierte Unternehmen bspw. selbst als „Major“ eingestufte Änderungen an einem TC vornehmen. In der unbemannten Welt soll es dafür das sog. „Light UAS Operator Certificate“ (LUC) geben, das gewisse Privilegien beinhaltet, sodass ein Nutzer seinen eigenen Einsatz zulassen kann.⁵⁴

Der Grad der Behördeneinbeziehung variiert je nach UAS und Einsatz und basiert auf der operationellen Risikobewertung. Analog zur bemannten Luftfahrt müssen Vorkommnisse gemeldet werden, sodass die Behörden eine Sicherheitsdatensammlung anlegen können. Wo möglich soll hier das Konzept nach dem Annex 19 der ICAO (International Civil Aviation Organization, dt.: Internationale Zivilluftfahrtorganisation) zur Einteilung in „Occurrences“, „Incidents“ und „Accidents“ angewandt werden. Die Identifikation und Registrierung von UAS wird national geregelt, ebenso die Durchsetzung der Regelungen. Ziel sollte es jedoch sein, dass alle beteiligten Staaten einen gleichen akzeptablen Sicherheitslevel für die speziellen Einsätze fordern, sodass eine Genehmigung in einem Staat auch in einem anderen anerkannt werden kann, wie in Abb. 10 dargestellt (UAS.SPEC.XX sind die Forderungen gem. dem Regelungsentwurf).⁵⁵

⁵² Siehe [15] EASA, JARUS, CPNI; Köln: https://skyopener.eu/wp-content/uploads/2018/09/1_EASA_UAS-Ops-In-Open-Specific-Categories_180709_TR.pdf Stand: 27.04.2019; S. 60f.

⁵³ Ebenda; S. 63ff.

⁵⁴ Siehe [45] Opinion No 01/2018; S. 23f.

⁵⁵ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); S. 105ff.

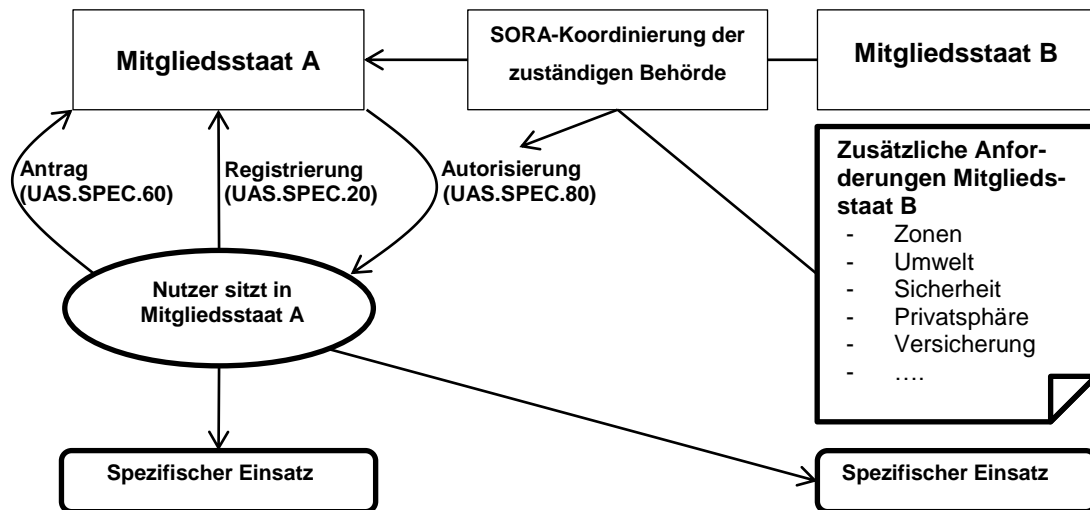


Abb. 10: Anerkennung von spezifischen Einsätzen in einem anderen EU-Staat

Quelle: Nach [43] NPA 2017-05 (A): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. Köln: EASA 2017; S. 111.

So wie für die offene Kategorie wurden in [43] NPA 2017-05 (A) bereits einige grundlegende Regelungen für die spezifische Kategorie definiert und in [45] Opinion No 01/2018 teilweise angepasst. Auch in dieser Kategorie ist der Nutzer dafür verantwortlich, dass der Betrieb sicher verläuft, die entsprechenden Regelungen und die festgelegten Grenzen eingehalten werden und der Einsatz entsprechend des Szenarios bzw. der Genehmigung dokumentiert wird. Ein Logbuch über durchgeführte Flüge ist zwingend erforderlich und kann elektronisch geführt werden. Für Modellflugvereine wird in einem eigenen Paragraphen festgehalten, dass bei Modellflugzeugen, die nicht in die offene Kategorie fallen, der Verein im Sinne dieser Regelung dem Nutzer entspricht und die Mitglieder die Piloten darstellen. Nutzer von UAS dieser Kategorie müssen sich gem. UAS.SPEC.20 bei der nationalen Luftfahrtbehörde registrieren und diese Registrierung, die drei Jahre gültig sein soll, aktuell halten.⁵⁶ Auch für das UAS kann eine Registrierung gefordert sein, allerdings nur, wenn eine Lufttüchtigkeitsbestätigung (Certificate of Airworthiness, CofA) notwendig ist.⁵⁷ Ein CofA bestätigt, dass das UAS einem nach Teil 21 ausgestellten TC entspricht – dies kann in SORA als Mitigationsmaßnahme verwendet werden (näheres siehe Kapitel 3.1). Weiterhin hat der Nutzer dafür Sorge zu tragen, dass die Piloten ausreichend geschult sind, vor dem Flug alle relevanten Informationen über das Einsatzgebiet vorliegen und das UAS in einem sicheren Zustand ist. Um eine operationelle, zeitlich begrenzt oder unbegrenzt gültige Genehmigung erhalten zu können, müssen der jeweiligen Behörde gem. UAS.SPEC.60 die ConOps vorgelegt werden. Diese müssen eine Erklärung beinhalten, dass der Einsatz einem Standardszenario entspricht und eine operationelle Genehmigung beantragt wird, oder, wenn das nicht der Fall ist,

⁵⁶ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); S. 40ff.

⁵⁷ Siehe [45] Opinion No 01/2018; S. 22.

dass der Einsatz keinem Standardszenario entspricht. In letztem Fall muss eine Risikobewertung gem. UAS.SPEC.40 durchgeführt und der Behörde vorgelegt werden, wofür SO-RA ein AMC darstellt. Mit den entsprechenden LUC-Privilegien können UAS.SPEC.40 und UAS.SPEC.60 auch von dem Unternehmen selbst zugelassen werden. Kann mit ausreichender Zuverlässigkeit die Einhaltung der Sicherheitslevel nachgewiesen werden, stellt die Behörde letztlich nach UAS.SPEC.80 eine Betriebserlaubnis aus.⁵⁸

Da ein entsprechendes LUC für Unternehmen eine große Vereinfachung bedeuten kann, wird hier auch auf die Voraussetzungen dafür kurz eingegangen. Mit einem LUC kann ein Unternehmen eines oder mehrere von drei Privilegien erhalten, die die Selbstautorisierung von

1. auf Standardszenarien basierenden Einsätzen,
2. Einsätzen, die auf einer oder mehreren Varianten (Modifikationen) von Standardszenarien basieren, solange sie keine Änderung des Einsatzkonzeptes, der UA-Kategorie oder der Pilotenkompetenz erfordern, und
3. Einsätzen, die keinem Standardszenario entsprechen, aber deren Einsatzarten vom UAS-Nutzer bereits erfolgreich durchgeführt wurden

ermöglichen.⁵⁹ Um ein LUC erhalten zu können, muss die Zuverlässigkeit der Organisation und der Arbeitsweise nachgewiesen werden. Prinzipiell kann jede Organisation ein LUC beantragen, wenn die Forderungen der nationalen Behörde, die des UAS.LUC.30 an das Management System und die des UAS.LUC.40 an das LUC-Handbuch/-Manual eingehalten werden. Neben dem UAS.LUC.30 muss das Management mindestens die Aktivitätskomplexität, Sicherheitsstrategien und -reporting und interne Audits beschreiben.⁶⁰ Mit einem LUC ist sicherzustellen, dass die Regularien innerhalb der Organisation eingehalten werden, die Kontrolle über die Prozesse vorhanden ist und entsprechende Sicherungsmaßnahmen vorliegen, um diesen auch zu behalten. Außerdem müssen der Zweck, die operationellen Einschränkungen und die Privilegien, die in den Anerkennungsbedingungen festgehalten sind, eingehalten werden. Es ist zu beachten, dass Nutzer zur Einhaltung einer LUC-Struktur in der Regel eine höhere Personalstärke benötigen, gleichzeitig kann jedoch auch durch den Wegfall von Aufgaben, die zur Autorisierung notwendig wären, Personal eingespart werden.⁶¹ Es ist somit abzuwägen, welcher Anteil überwiegt: Ein Unternehmen, das speziell UAS-Operationen anbietet, könnte von einem LUC profitieren, während andere, die UAS-Einsätze lediglich als Zusatzkompetenz und deutlich seltener ausführen, jeden Einsatz von der Behörde neu autorisieren lassen könnten.

⁵⁸ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); S. 42ff.

⁵⁹ Siehe [45] Opinion No 01/2018; S. 23f.

⁶⁰ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); S. 46ff.

⁶¹ Siehe [44] NPA 2017-05 (B); S. 105.

2.2.3 UAS der Kategorie „zertifiziert“

Die letzte UAS-Kategorie deckt die Einsätze ab, die das größte Risiko auf Personen am Boden oder in der Luft oder auf kritische Infrastruktur ausüben und deren Gefährdungsgrad mit dem der bemannten Luftfahrt verglichen werden kann.⁶² Es gibt zwar keine klare Grenze zwischen den Kategorien „spezifisch“ und „zertifiziert“, [43] NPA 2017-05 (A) benennt jedoch einige Fälle, die zweifelsohne in letzterer betrieben werden müssen:

- große und komplexe UAS, die regelmäßig über Menschenansammlungen oder in BVLOS in hochdichtem Luftraum betrieben werden,
- UAS, die für den Personentransport genutzt werden und
- UAS, die für den Transport gefährlicher Güter genutzt werden, die im Falle eines Flugunfalls ein hohes Risiko für Unbeteiligte darstellen können, insbesondere atomare oder chemische Güter.⁶³

Diese Liste darf nicht als abschließende Aufzählung verstanden werden, zumal UAS auch freiwillig in einer höheren Kategorie betrieben werden können. Dies kann bspw. bei internationalen Einsätzen von Vorteil sein oder wenn ein Hersteller für ein auch in der spezifischen Kategorie nutzbares UAS ein CofA beantragt, um den internationalen Markt besser bedienen zu können oder einen Wettbewerbsvorteil zu erreichen.

Gem. Abb. 7 bedingt die zertifizierte Kategorie die größte Einbeziehung der Luftfahrtbehörden, da auch die Zulassung und der Betrieb dieser UAS mit der bemannten Luftfahrt vergleichbar sein soll. Es wird angenommen, dass die traditionellen Mechanismen aus der bemannten Luftfahrt in dieser Kategorie weitgehend angewandt werden können. Das bedeutet, dass für den Einsatz in der zertifizierten Kategorie das UAS von zugelassenen 21J- und 21G-Betrieben entwickelt und hergestellt wird, die Lufttüchtigkeit mit einem CofA nachgewiesen ist (initiale Lufttüchtigkeit auf Grundlage eines genehmigten TC und Übereinstimmung mit Anforderungen an die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit inkl. Instructions for continued Airworthiness, ICA), der Nutzer zugelassen ist und über Flughandbücher mit Anleitungen und Informationen für das Personal verfügt, und Piloten, Crews und Wartungsteams lizenziert sind.⁶⁴ Eine Registrierung von UAS ist in dieser Kategorie immer notwendig und angebracht, um auch internationale Einsätze zu ermöglichen. Hier haben die nationalen Behörden anders als bei den anderen Kategorien einen sehr geringen Spielraum, da die Genehmigungen und Lizenzen auf EASA-Regularien beruhen müssen. Auf die wesentlichen Punkte und vor allem die Unterschiede zur bemannten Welt wird im Folgenden kurz eingegangen. Eine Übersicht über die dabei anzuwendenden EASA-Teile kann Abb. 11 entnommen werden.

⁶² Siehe [29] UAV DACH – Services UG, Eschbach, P.; Salem: <https://uas-office.de/?portfolio=sora-certified-category-nach-easa> Stand: 27.04.2019.

⁶³ Siehe [43] NPA 2017-05 (A); S. 11.

⁶⁴ Siehe [49] UAS OPS; S. 31f.

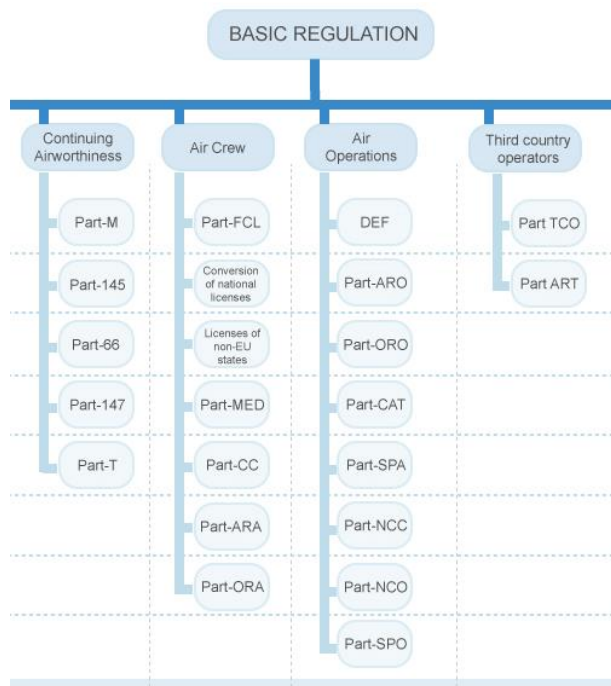


Abb. 11: Übersicht über EASA-Teile

Quelle: [17] EASA; Köln: <https://www.easa.europa.eu/regulations> Stand: 27.04.2019.

UAS, die in der zertifizierten Kategorie betrieben werden sollen, benötigen ein gültiges TC. Dabei soll ähnlich wie in der bemannten Luftfahrt vorgegangen werden, allerdings kann das TC neben dem UA auch andere Elemente enthalten, wie die GCS, Propeller und Antriebe und weiteres Equipment. Das zugelassene TC führt dann zu einem CofA.⁶⁵ Der Vorgang von den ConOps zum TC kann vereinfacht nachfolgend dargestellt werden.

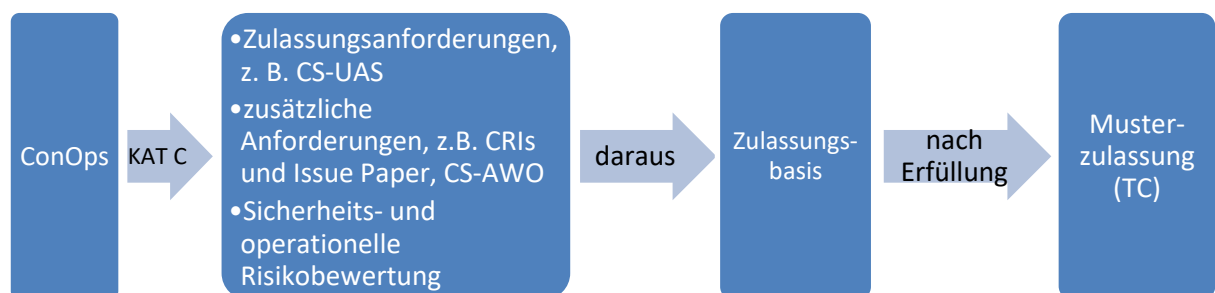


Abb. 12: Von ConOps zum TC

Quelle: Nach [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018; S. 32.

Die Grundlage der Zulassungsbasis bildet die anzuwendende CS. Hierbei soll die für das erste Quartal 2019 geplante und am 01.02.2019 von JARUS zur externen Konsultation freigegebene CS-UAS einen einheitlichen Standard bilden. Bevor diese offiziell veröffentlicht ist, muss eine äquivalente Zulassungsbasis auf Grundlage bereits existierender CSs erarbeitet werden, häufig CS-23 und CS-E. Einige Anforderungen daraus, vor allem solche die sich auf

⁶⁵ Siehe [49] UAS OPS; S. 31f.

die Sicherheit der Piloten beziehen, sind für UAS nicht anwendbar, wohingegen einige Aspekte nicht oder nur unzureichend abgedeckt werden. Daher müssen zur CS sog. „Special Conditions“ der EASA berücksichtigt werden, welche Besonderheiten von UAS einbeziehen, wie GCS oder C2/C3-Link (C3 steht für „Command, Control and Communication“). Eine Vereinfachung können die von JARUS veröffentlichten CS-LURS vom 31.10.2013 (für „Light Unmanned Rotorcraft Systems“) und CS-LUAS vom 09.11.2016 (für „Light Unmanned Aeroplane Systems“) darstellen, die bereits ein Set von Anforderungen zur Verfügung stellen, die auch die Besonderheiten der unbemannten Luftfahrt berücksichtigen.⁶⁶ Außerdem wurden von JARUS im November 2015 ein AMC RPAS.1309 veröffentlicht, der Möglichkeiten darstellt, den bereits erwähnten Paragraphen 1309 für unbemannte Systeme zu erfüllen. Dessen Erfüllung ist für die Genehmigung des TC notwendig, wird an dieser Stelle jedoch nicht weiter betrachtet, sondern in Kapitel 3.2 erörtert, da auch SORA eine Sicherheitsbewertung darstellt, die der Paragraph 1309 fordert.

Generell soll ein UA nicht mehr als ein TC haben, sodass für künftige sog. „Hybrid-UAS“, die optional bemannt betrieben werden können, nur ein TC und CofA herausgegeben werden. Das UAS kann in einem TC berücksichtigt werden, es können jedoch auch die einzelnen Elemente UA, GCS, Antriebe und Propeller eigene TCs besitzen. C2-Equipment und das Start- und Rückholelement (Launch and Recovery Element, LRE) werden statt eigener TCs lediglich Genehmigungen besitzen.⁶⁷ Unter dem TC-Prozess des UAS müssen alle für den sicheren Betrieb essentiellen Elemente zertifiziert werden oder im TC ist auf die separaten Zulassungsprozesse oder Genehmigungen zu referenzieren. Dabei kann das UAS als ein System inkl. UA, C2-Link-Equipment, GCS und anderen Systemen, die zur Lufttüchtigkeit beitragen, zugelassen werden. In diesem Fall hat die Designorganisation die volle Verantwortung über das System, was auch im TC entsprechend ausgewiesen sein soll. Werden einzelne Komponenten als austauschbare Elemente mit eigenen Genehmigungen oder TCs zugelassen, müssen die Interfaces und die Performance definiert und vom TC-Halter verifiziert sein. Hier ist der Nutzer für den sicheren Einsatz des Systems verantwortlich; die UAS-Elemente sollten sich im TC entsprechend widerspiegeln.⁶⁸ Im TCDS (Type Certificate Data Sheet) müssen außerdem alle Elemente, die mit dem UA kompatibel und akzeptiert sind, aufgelistet werden. Es definiert auch zulässige Konfigurationen der UAS-Elemente für verschiedene Einsätze und enthält substantielle Informationen bzgl. der Zulassungsbasis sowie operationelle und technische Einschränkungen des UAS.⁶⁹ Jede UAS-Komponente braucht eine CS und/oder einen Equipment-Standard. Auf einige Kernkomponenten, die in der bemannten Luftfahrt nicht vorhanden sind, wird im Folgenden kurz eingegangen.

⁶⁶ Siehe auch [23] JARUS: <http://jarus-rpas.org/publications> Stand: 28.04.2019.

⁶⁷ Siehe [49] UAS OPS; S. 32ff.

⁶⁸ Ebenda; S. 34f.

⁶⁹ Ebenda; S. 39.

Zunächst wird die Bodenkontrollstation (GCS) betrachtet. Sie dient vorrangig der Steuerung und Überwachung des UA und kann sehr unterschiedlich aufgebaut sein: Komplexe UAS können eingebaute GCS haben, deren Komplexität der eines bemannten Flugzeugcockpits gleicht, während einfachere Systeme mit mobilen „Fernsteuerungen“ auskommen. Einen wesentlichen Einfluss auf die Art der GCS hat der Automationsgrad des UAS. Die Betriebsbedingungen der GCS müssen im Design festgeschrieben sein und für den Umgang mit Änderungen, Reparaturen und Wartung müssen Kernprozesse ähnlich der Lufttüchtigkeitsforderungen des UA definiert sein. Außerdem hat der Nutzer Sorge zu tragen, dass die Anlage gegen Unbefugte gesichert ist, und die Zuverlässigkeit der Stromversorgung muss nachgewiesen werden. Bei einem eigenen TC der GCS ist der Betreiber dafür verantwortlich, dass der Betrieb mit einem lufttüchtigen System durchgeführt wird, dies beinhaltet u. a., dass die GCS den Kriterien und Spezifikationen des TCDS entspricht und die Piloten richtig geschult sind. Um Interoperabilität des UA und der GCS sicherzustellen, müssen verschiedene Konfigurationen definiert sein. Möglich sind hierbei unter anderem die Nutzung eines UA mit einer oder mit verschiedenen GCS, einer GCS mit einem oder verschiedenen UA oder auch die Nutzung einer GCS mit verschiedenen UA gleichzeitig. Die für das jeweilige System zulässigen Konfigurationen und Übergabeprozesse müssen vom Halter des TC definiert sein.⁷⁰

Ein weiterer essentieller Teil eines UAS ist der C2-Link. Technisch gesehen stellt er die logische Verbindung zum Informationsaustausch zwischen GCS und UA dar. Er befähigt den Piloten, das UAS sicher zu betreiben und in die globale Luftfahrt, Kommunikation, Navigation und ATC-Umgebung (Air Traffic Control, dt.: Luftverkehrskontrolle) zu integrieren. Dabei ist er wie in Abb. 13 zu sehen als physische Komponente sowohl im UA als auch in der GCS vorhanden. Der erwähnte Fremdservice kann den künftigen U-Space-Service einschließen.⁷¹

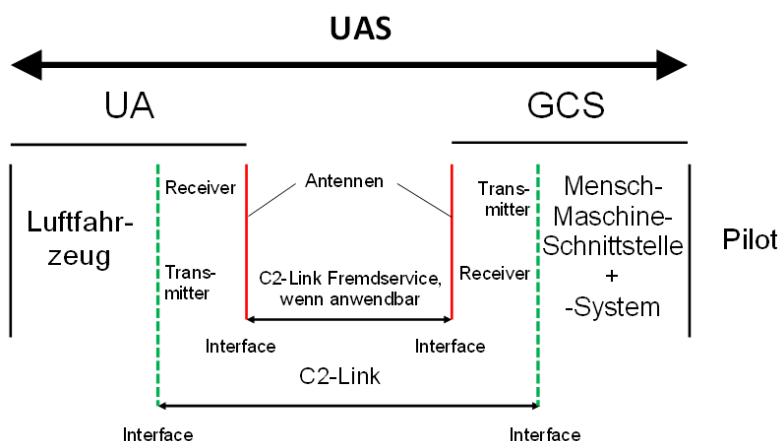


Abb. 13: Systemaufteilung eines UAS

Quelle: Nach [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018; S. 37.

⁷⁰ Siehe [49] UAS OPS; S. 35f.

⁷¹ Ebenda; S. 36ff.

Spezifische Performance-Anforderungen an den C2-Link wurden von JARUS entwickelt und stellen eine Adaption der in der bemannten Luftfahrt notwendigen Kommunikationsperformance dar, die nicht unterschritten werden darf. Die wesentlichen identifizierten Parameter sind die Transaktionszeit und die Transaktionsablaufzeit, Verfügbarkeit, Kontinuität und Integrität. Die Performance muss dem Piloten angezeigt werden.⁷²

Zuletzt zu berücksichtigen ist das LRE. Wie bereits erwähnt, kann es entweder im TC des UA einbezogen werden oder eine eigene Genehmigung erhalten. Das LRE muss nicht zwangsläufig Teil des UA sein, ein Beispiel ist der Katapultstart.⁷³

Ein zertifiziertes UAS darf ähnlich der bemannten Luftfahrt nur betrieben werden, wenn es ein gültiges CofA besitzt, das von der zuständigen Luftfahrtbehörde herausgegeben wird. Ein solches soll einem individuellen UAS verliehen werden, wenn das UA ein gültiges CofA und Umweltzertifikate besitzt, andere Elemente (GCS, LRE...) gültige Genehmigungen aufweisen und kompatibel zum UA sind. Ein CofA wird einem individuellen UA verliehen, wenn dessen Konfiguration den Designanforderungen entspricht, die Konformität mit dem TC gezeigt und nachgewiesen wurde, dass das UA keine unsichere Charakteristik für den gewünschten Einsatz aufweist. Um das UAS-CofA zu erhalten und aufrechtzuhalten, müssen verschiedene Dinge beachtet werden. Zunächst müssen für die initiale Lufttüchtigkeit Konformitätszertifikate vorliegen – für das UA ist dies das CofA, andere Elemente des UAS können separate Nachweise haben. Für ein Teil, Gerät und Equipment, das in UAS, UA, GCS, Antrieb oder Propeller eingebaut wird und für das spezifische Anforderungen gelten, kann eine sog. „Technical Standard Order“ (TSO) herausgegeben werden. In diesem Fall muss auch eine „Declaration of Design and Performance“ (DDP) veröffentlicht werden, die die Teilekonfiguration, Designanforderungen und das Level und die Art der erreichten Qualifikation definiert. Die jeweiligen Teile-Hersteller oder -Entwickler müssen entsprechend zertifiziert sein. Bei mehreren Konformitätszertifikaten ist der Betreiber dafür verantwortlich, diese zu managen und die Konformität zu verifizieren, um sicherzustellen, dass das UAS in einem lufttüchtigen Zustand ist. Zertifikate werden vom Hersteller- und Entwicklerland herausgegeben und vom Besitzer oder dem Betreiberstaat, bei dem das UAS registriert ist, gehalten. Nach Feststellung der initialen Lufttüchtigkeit gilt es, diese zu erhalten. Hierbei wird zwischen „Continued“ und „Continuing“ Lufttüchtigkeit unterschieden. Erstere beschreibt alle Prozesse, die Wartung und sicheren Zustand des Luftfahrzeugs über seine Lebensdauer sicherstellen. Sie bezieht sich sowohl auf Design und Produktion als auch auf seine Einsätze, Wartung, Modifikationen und Reparaturen. Dafür ist der Betreiber verantwortlich, während die Behörde für den Überblick über die Übereinstimmung mit den Anforderungen zuständig ist. Auch die

⁷² Siehe [49] UAS OPS; S. 38f.

⁷³ Ebenda; S. 36.

ICA sind Teil der „Continued“ Lufttüchtigkeit. Sie sind eine Dokumentation vorgeschlagener Methoden, Inspektionen, Prozesse und Verfahren, die das Wartungsprogramm des Betreibers unterstützen, um das UAS während seiner Lebensdauer lufttüchtig zu halten. Sie werden vom Entwickler festgelegt und können u. a. Lufttüchtigkeitseinschränkungen, Wartungsanweisungen und -zeitpläne, Inspektionsintervalle, spezielle Inspektionstechniken, Service-Informationen und In-Service-Erfahrungen enthalten. Die „Continuing“ Lufttüchtigkeit stellt sicher, dass das Luftfahrzeug im Betrieb korrekt gemanagt und von entsprechendem Personal unter Einhaltung der Anweisungen der Designorganisation gewartet wird. Sie unterstützt jede Notwendigkeit von Modifikationen, Reparaturen und Austausch von Teilen sobald das Luftfahrzeug in Betrieb ist, inkl. bspw. das Management von Konfigurationsaufzeichnungen. Für diesen Teil ist ausschließlich der Betreiber verantwortlich.⁷⁴

Um das nun zugelassene UAS in der zertifizierten Kategorie betreiben zu dürfen, muss auch der Betreiber lizenziert sein. Er ist verantwortlich für den sicheren Betrieb und somit für die Verwendung sicherer Elemente des UAS und von entsprechend zugelassenem Personal. Analog zu Abb. 12 wird der Prozess von ConOps zur Nutzerlizenz nach Abb. 14 dargestellt.

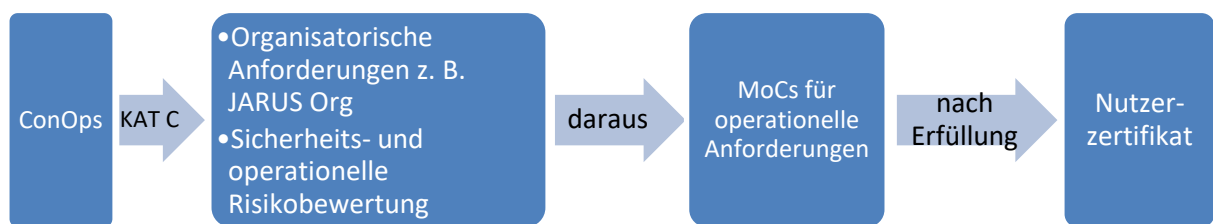


Abb. 14: Von ConOps zum Nutzerzertifikat

Quelle: Nach [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018, S. 41.

Wie in der bemannten Luftfahrt ist auch in der zertifizierten UAS-Kategorie ein Sicherheitsmanagementsystem (SMS) notwendig, u. U. mit von der zuständigen Behörde festgelegten speziellen Forderungen für den unbemannten Betrieb. Das UAS-Nutzerzertifikat (Remote Operator's Certificate, ROC) soll dem „Aircraft Operator Certificate“ (AOC) aus der bemannten Luftfahrt ähneln, genaue organisatorische Voraussetzungen werden von JARUS erarbeitet. Das Zertifikat muss u. a. folgende Elemente berücksichtigen: Einsatzhandbuch, SMS, Organisatorische Verantwortlichkeiten, Wartungsprogramm, Dokumentationssystem, Vorfall- und Unfall-Reporting, Qualitätssicherung und Training.⁷⁵

Zuletzt muss auch das gesamte Personal, das mit dem UAS umgeht (sei es als Pilot oder Wartungspersonal), entsprechend lizenziert sein und diese Lizenzen müssen aktuell gehalten werden. Wie oben kann man den Prozess nach Abb. 15 darstellen.

⁷⁴ Siehe [49] UAS OPS; S. 40ff.

⁷⁵ Ebenda; S. 42.

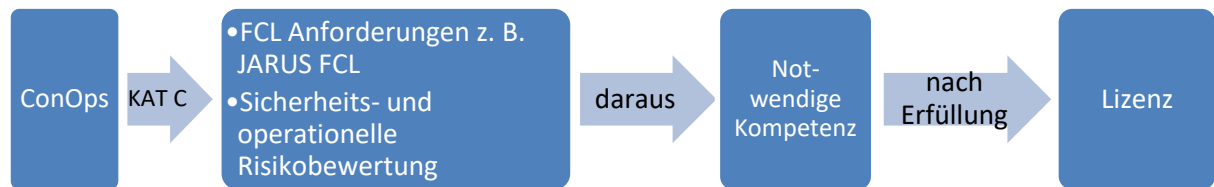


Abb. 15: Von ConOps zur Personallizenz

Quelle: Nach [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018, S. 43.

Das TCDS definiert eine minimale Crew, die Pilotenverantwortlichkeiten sollen denen der bemannten Luftfahrt entsprechen. Die Voraussetzungen für eine Pilotenlizenz, u. a. Erfahrung oder medizinische Anforderungen, werden von der nationalen Behörde festgelegt. Das notwendige Ausmaß theoretischen und praktischen Trainings und weitere Anforderungen werden von JARUS erarbeitet.⁷⁶ Zusammenfassend können die Genehmigungen von UAS-Einsätzen der Kategorien offen, spezifisch und zertifiziert nach Abb. 16 dargestellt werden. Eine Kurzübersicht über die notwendigen Genehmigungen und Zulassungen zeigt Tabelle 3.

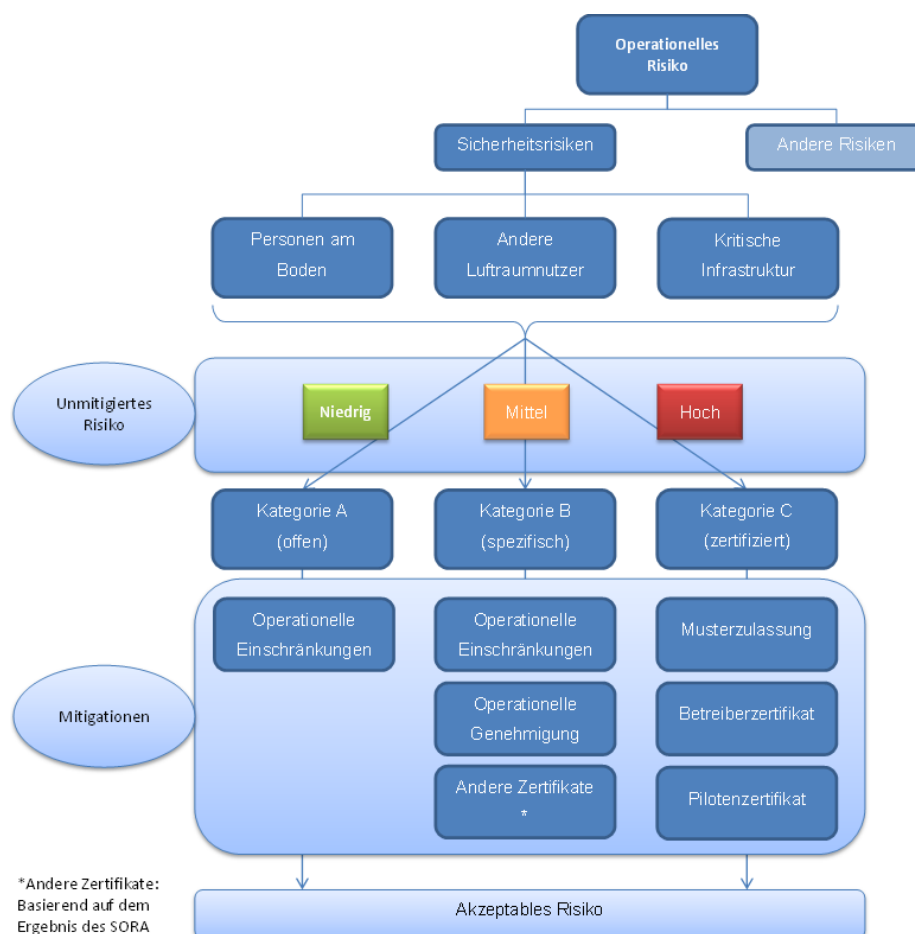


Abb. 16: Zusammenfassung des risikobasierten Ansatzes

Quelle: Nach [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018, S. 13.

⁷⁶ Siehe [49] UAS OPS; S. 42f.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Genehmigungen in den einzelnen Kategorien

	UAS operationelle Kategorisierung		
	A (offen)	B (spezifisch)	C (zertifiziert)
Operationelle Genehmigung	Nein	Ja	Nein
Musterdesign (TC/STC)	Nein	Vielleicht*	Ja
Lufttüchtigkeitsbescheinigung (CofA)	Nein	Vielleicht*	Ja
Einhalten von Design Standards	Vielleicht	Vielleicht*	Ja
Pilotenlizenz	Nein	Vielleicht*	Ja
Betriebserlaubnis	Nein	Vielleicht*	Ja
Wartungsgenehmigung	Nein	Vielleicht*	Ja
Produktionsgenehmigung	Nein	Vielleicht*	Ja
* abhängig vom Ergebnis der Risikobewertung sind manche Genehmigungen nicht nötig			

Quelle: Nach [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018, S. 18.

Neben Betreibern und Herstellern müssen sich auch Behörden auf erhöhte Arbeitsaufkommen einstellen, sobald die Nutzung von UAS in dieser Kategorie zunimmt. Neben der offensichtlichen Aufgabe, die erwähnten Zulassungen auszustellen und die UAS zu registrieren, sind die EU-Mitgliedsstaaten dazu angehalten, eine Sicherheitsdatensammlung einzuführen, welche die für die unbemannte Luftfahrt einzigartige Risikostruktur widerspiegeln soll. Dies soll einen entsprechenden Kompetenz- und Wissensaufbau fördern, da in der bemannten Luftfahrt eine umfangreiche Datenbank zu Einsätzen, Zwischenfällen, Unfällen u. v. m. existiert, für unbemannte Systeme bisher jedoch nur wenige Daten vorliegen. Um Behörden zu entlasten, können wie in der bemannten Luftfahrt gewisse Privilegien vergeben werden.⁷⁷

Die EASA hat das Ziel internationaler Regelungen innerhalb der EU, aber auch eine mögliche Anerkennung anderer Staaten. Um möglichst routinierte globale Einsätze zu erreichen, arbeitet die ICAO an „Standards and Recommended Practices“ (SARPs), die international anerkannt sind und UAS-Einsätze und deren Lufttüchtigkeit betrachten. JARUS-Vorschläge, die Vertreter aus derzeit 59 Staaten aus aller Welt erarbeiten, sollen durch nationale Umsetzungen vor der Veröffentlichung der SARPs das Potential einer internationalen Anerkennung maximieren. Darüber hinaus kann durch ein Netz von bi- und multinationalen Abkommen eine Anerkennung von Zertifikaten wie in der bemannten Luftfahrt erreicht werden, wobei je nach Staat u. U. zusätzliche Zertifikate notwendig werden.⁷⁸

⁷⁷ Siehe [49] UAS OPS; S. 43f.

⁷⁸ Ebenda; S. 44.

3 Sicherheitsbewertung von unbemannten Systemen

Nachdem die generellen Regelungen zur Zulassung bzw. Genehmigung von Luftfahrzeugen und UAS-Einsätzen dargestellt wurden, wird in diesem Kapitel näher auf die Sicherheitsbewertungen von UAS eingegangen, welche gem. UAS.SPEC.40 für die spezifische Kategorie und den jeweiligen Paragraphen 1309 für die zertifizierte Kategorie vorgeschrieben sind. Für die offene Kategorie ist keine Sicherheitsbewertung durchzuführen. Im ersten Unterkapitel wird das von JARUS entwickelte SORA dargestellt, welches ein AMC für den Paragraphen UAS.SPEC.40 darstellt, und im zweiten Unterkapitel findet ein Vergleich mit der Sicherheitsbewertung in der zertifizierten Kategorie statt. Zu diesem Zweck wird dort der ebenfalls von JARUS entwickelte AMC RPAS.1309 erläutert.

3.1 Specific Operations Risk Assessment, SORA

Wie in Tabelle 3 bereits zu sehen, hängt der Genehmigungsaufwand von UAS-Einsätzen in der spezifischen Kategorie wesentlich vom Ergebnis der Sicherheitsbewertung ab, die gem. UAS.SPEC.40 der NPA 2017-05 (A) für diese Kategorie gefordert wird, wenn der Einsatz nicht einem Standardszenario entspricht. Dabei ist von einem risikobasierten Ansatz auszugehen, der neben dem UAS auch die Einsatzart berücksichtigt. Das von JARUS entwickelte und in Ed. 1.0 im August 2017 veröffentlichte SORA stellt dabei einen Vorschlag einer mehrstufigen Risikobewertungsmethodik zur Gefahrenermittlung und -eindämmung dar. Es soll den Autorisierungsprozess vereinheitlichen und ein ausreichendes Vertrauenslevel in die Sicherheit des Einsatzes erreichen. In dieser Arbeit wird mit der derzeit aktuellen Ed. 2.0 von SORA gearbeitet, die am 30.01.2019 herausgegeben wurde, die entsprechenden Anhänge wurden erstmalig veröffentlicht und befinden sich daher in Ed. 1.0. Teilweise wird auch auf Ed. 1.2 von SORA Bezug genommen, die am 31.05.2018 zur externen Konsultation freigegeben wurde. Hier sind für das Lufttrisikomodell einige nähere Ausführungen als in der neueren Ed. 2.0, wo auf noch zu erarbeitende Anhänge verwiesen wird, die noch nicht veröffentlicht sind. Es wird für diese Arbeit angenommen, dass die Ausführungen zum Lufttrisikomodell aus Anhang C der SORA Ed. 1.2 unverändert beibehalten werden, auch wenn diese in SORA Ed. 2.0 bzw. deren Anhang C Ed. 1.0 nicht mehr ausgeführt sind und stattdessen auf die noch zu erarbeitenden Anhänge F und G verwiesen wird.

SORA berücksichtigt neben dem Design und der Performance des UAS auch Gebiet, Bedingungen und Art des Einsatzes, Klasse des Luftraums, Auswirkungen auf anderen Luftverkehr, ATM und Umwelt, Kompetenz des Piloten sowie organisatorische Faktoren.⁷⁹ Als internationaler Standard bietet es vor allem für länderübergreifende Einsätze Systeme viele Vorteile, da eine unterschiedliche Handhabung einzelner Nationen den zivilen Flugbetrieb

⁷⁹ Siehe [4] Beck.

und die Zukunftschancen von UAS blockieren würde. Sicherungs- und Privatsphärenregelungen sind zusätzlich zu SORA zu erfüllen und werden in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt. Bei der Einhaltung eines Standardszenarios wird davon ausgegangen, dass für dieses bereits Risikobewertungsdaten vorliegen, sodass ein Einsatz auch ohne erneutes vollständiges SORA durchgeführt werden kann. Es ist lediglich nachzuweisen, dass die Einschränkungen und Mitigationen des Standardszenarios eingehalten werden. Obwohl SORA ursprünglich für die spezifische Kategorie entwickelt wurde, kann es dennoch als Risikobewertung für jede UAS-Klasse, -Größe und -Einsatz genutzt werden. Je nach konkretem Fall kann es jedoch bei der zertifizierten Kategorie als nicht ausreichend angesehen werden. Auch für Personen- und Gefahrguttransporte stellt es keine ausreichende Risikobewertung dar.⁸⁰

Der Grundgedanke hinter SORA ist, dass ein Einsatz von UAS unabhängig von der Kategorisierung den gleichen Sicherheitslevel erreichen soll, lediglich der Weg hierfür ist in den Kategorien unterschiedlich. Bei der offenen Kategorie wird dies durch die eingeschränkten Fähigkeiten und MTOMs des UAS sowie operationelle Einschränkungen erreicht, hier ist der Einsatz an sich bereits sehr risikoarm. In der zertifizierten Kategorie wird für den risikoreichen Einsatz durch die Einhaltung ähnlicher Anforderungen wie in der bemannten Luftfahrt ein ausreichender Sicherheitslevel erreicht. Für die spezifische Kategorie soll mit SORA der gleiche Sicherheitslevel erreicht werden wie in den anderen Kategorien. Die konkreten Risikowahrscheinlichkeiten treten dabei eher in den Hintergrund, da es sich um eine generelle und im Wesentlichen qualitative Methodik handelt.

Ausschlaggebend bei SORA ist die Wahrscheinlichkeit eines tödlichen Ereignisses bei einer Kollision des UAS mit Personen oder anderem Luftverkehr.⁸¹ Daher wird zunächst das Risiko des ConOps bewertet, aufgeteilt in das für anderen Luftverkehr (Air Risk Class, ARC) und für Personen oder Infrastruktur am Boden (Ground Risk Class, GRC). Dabei können die initialen Klassen je durch bestimmte Mitigationen verringert werden. Die Bewertung wird dann in einem von sechs „Specific Assurance and Integrity Level“ (SAIL) abgeschlossen, die vordefinierte Präventivmaßnahmen in Form von Vorbereitungen, Dokumenten und Mitigationen festlegen, um die potentiellen Gefahren des Einsatzes abzumildern oder zu beseitigen.⁸² Diese sog. „Operational Safety Objectives“ (OSOs) berücksichtigen u. a. „menschliches Versagen“ oder „technische Probleme“ und müssen mit einem bestimmten Robustheitsgrad von „optional“ über „Selbsterklärung“ bis „Sachverständigengutachten“ umgesetzt werden.⁸³ Dabei soll SORA keine Checkliste, sondern eher einen Leitfaden zur Reduktion des Risikos auf

⁸⁰ Siehe [46] SORA Ed.2.0: S. 11f.

⁸¹ Siehe [4] Beck.

⁸² Siehe [26] La Cour-Harbo, A.; Aalborg: <https://www.researchgate.net/publication/32336717>

6 The Value of Step-by-Step Risk Assessment for Unmanned Aircraft Stand: 27.04.2019.

⁸³ Siehe [4] Beck.

ein akzeptables Maß darstellen. Durch die objektive Sicht auf das Risiko des geplanten UAS-Einsatzes liefert SORA feste Risikowerte als Anhaltspunkte zur Schadensbegrenzung und trägt daher zur Steigerung der Sicherheit unbeteiligter Dritter in der Luft und am Boden bei. Eine Darstellung der wesentlichen Begrifflichkeiten in SORA ist in Abb. 17 zu sehen. Kernfunktion von SORA ist es, mit einem bestimmten Robustheitsgrad sicherzustellen, dass der Einsatz im grünen oder gelben Bereich bleibt.⁸⁴

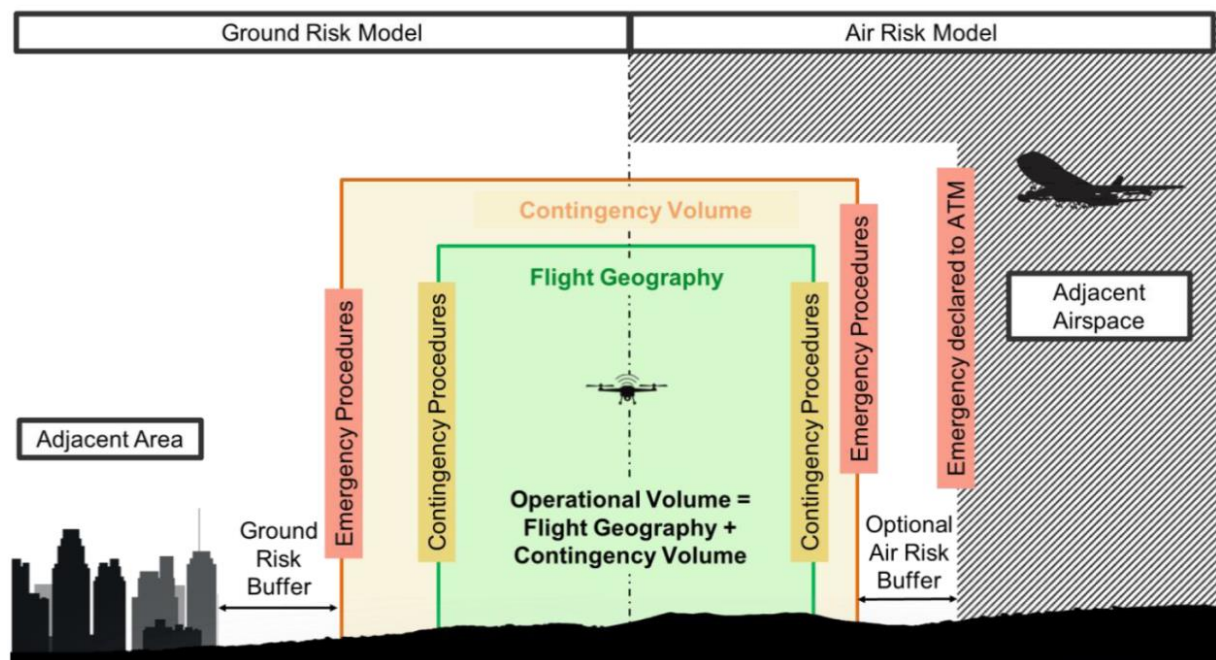


Abb. 17: SORA semantisches Modell

Quelle: [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; S. 14.

Die bereits erwähnte Robustheit unterteilt sich bei SORA in drei Stufen: niedrig, mittel und hoch. Sie wird aus der risikobasierten Integrität (dem Sicherheitsgewinn der jeweiligen Mitigation) und der ebenfalls risikobasierten Sicherstellung (der Beweis, dass der Sicherheitsgewinn erreicht wird) ermittelt. Wie in Tabelle 4 zu sehen entspricht sie jeweils dem niedrigeren Level. Die Integrität unterscheidet sich stark von Mitigation zu Mitigation, der Sicherstellungslevel kann jedoch in den meisten Fällen wie folgt ermittelt werden:

- Niedrig: Selbsterklärung des Nutzers, dass das Integritätslevel erreicht wird;
- Mittel: der Nutzer legt unterstützende Nachweise vor, dass das Integritätslevel erreicht wird; typischerweise durch Tests oder Erfahrungsnachweise;
- Hoch: die Validierung des Integritätslevels wird von einer unabhängigen kompetenten Stelle akzeptiert.⁸⁵

⁸⁴ Siehe [15] EASA, JARUS, CPNI; S. 20.

⁸⁵ Nach [46] SORA Ed. 2.0; S.14.

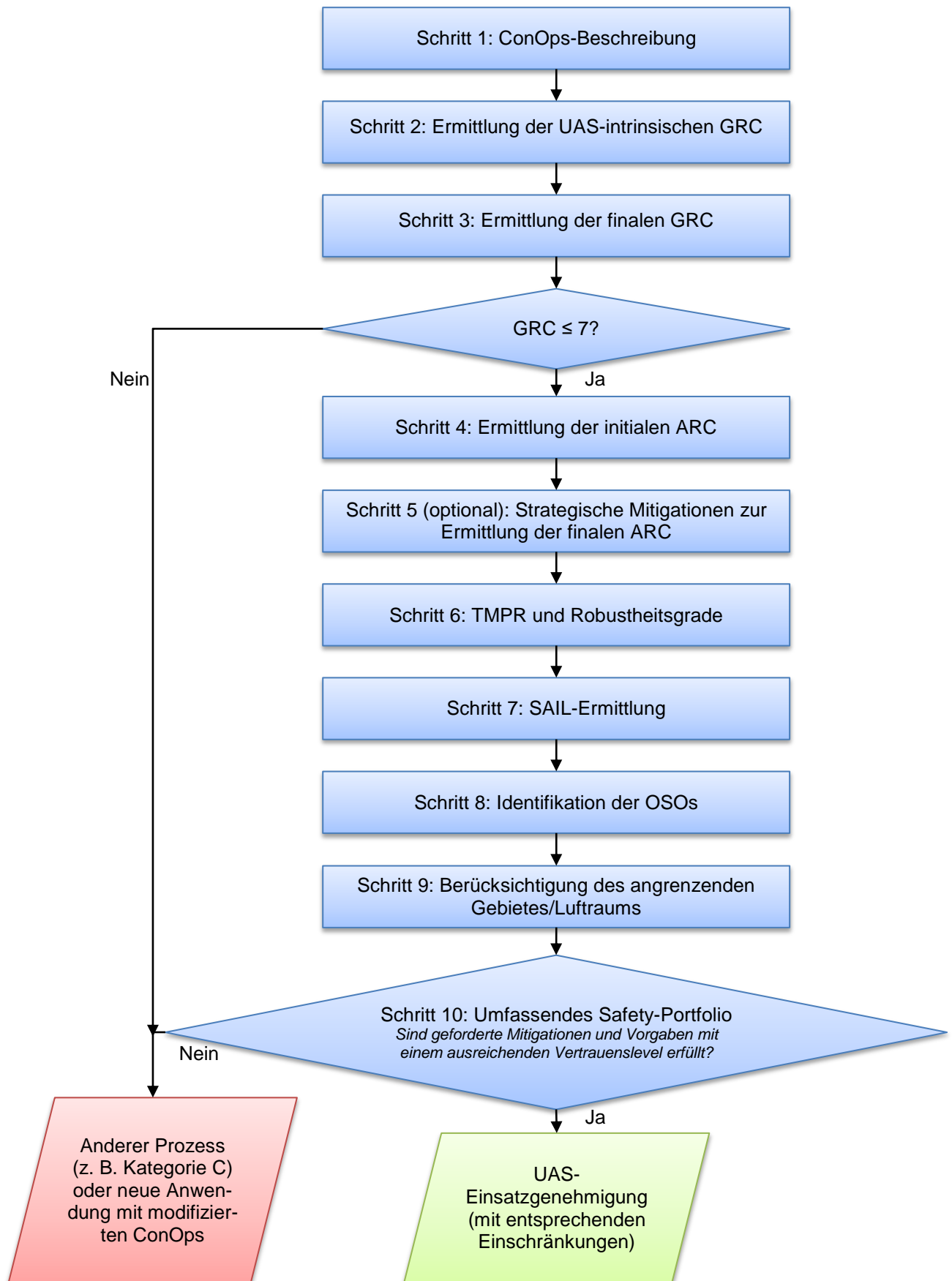
Tabelle 4: Ermittlung des Robustheitsgrades

	Niedrige Sicherstellung	Mittlere Sicherstellung	Hohe Sicherstellung
Niedrige Integrität	Niedrige Robustheit	Niedrige Robustheit	Niedrige Robustheit
Mittlere Integrität	Niedrige Robustheit	Mittlere Robustheit	Mittlere Robustheit
Hohe Integrität	Niedrige Robustheit	Mittlere Robustheit	Hohe Robustheit

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; S. 15.

Die Methodik von SORA basiert auf einem logischen, zehnstufigen Schritt-für-Schritt-Prozess, um vorgeschlagene ConOps zu analysieren und mit Mitigationen einen akzeptablen Sicherheitslevel zu erreichen. Zuvor ist festzustellen, ob der gewünschte Einsatz mit SORA bewertet werden kann. Dabei ist u. a. zu prüfen, ob der Einsatz durch ein Standardszenario abgedeckt ist, in der offenen Kategorie durchgeführt werden kann oder das UAS von der nationalen Luftfahrtbehörde für den Luftraum und den Boden als harmlos eingestuft ist – in diesen Fällen ist kein (erneutes) SORA erforderlich. Außerdem darf für diesen Einsatz kein spezifisches Verbot der nationalen Behörden gelten und der Einsatz nicht in der zertifizierten Kategorie durchgeführt werden müssen – in letzterem Fall kann SORA als unterstützende aber nicht hinreichende Sicherheitsbewertung oder auch andere Sicherheitsbewertungsmethoden angewandt werden. Kann und soll SORA angewendet werden, ist dem Prozess, wie in Abb. 18 auf Seite 43 dargestellt, zu folgen. Dabei bezeichnet TMPR Anforderungen an die Fähigkeiten taktischer Mitigationen (Tactical Mitigation Performance Requirements). Auf die einzelnen Schritte wird im Folgenden kurz eingegangen.⁸⁶

⁸⁶ Nach [46] SORA Ed. 2.0; S. 19.

**Abb. 18: Der SORA-Prozess**

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; S. 18.

3.1.1 Schritt 1: ConOps-Beschreibung

Am Anfang des SORA-Prozesses steht die Beschreibung des gewünschten Einsatzes. Eine gründliche und ausführliche ConOps-Beschreibung kann die Anwendung von SORA unterstützen und die Einhaltung und Überwachung der OSOs vereinfachen. Dabei müssen neben operationellen Informationen auch technische, organisatorische und personelle Belange berücksichtigt sowie ein Einblick in die operationelle Sicherheitskultur des Nutzers gewährt werden. Die Verantwortlichkeiten und Pflichten müssen klar definiert sein, ein besonderes Augenmerk ist hier auf das Sicherheitsmanagement zu legen, da die spezifische Kategorie Einsätze mit einem höheren operationellen Risiko beinhaltet. Es ist u. a. darzulegen, wie der Sicherheitsaspekt in die Organisation integriert ist und welche Managementsysteme dafür verwendet werden. Außerdem müssen bei UAS-Entwicklung und -Herstellung die entsprechenden Organisationen ebenso beschrieben werden, wie die Trainings- oder Wartungsorganisation inkl. Wartungsphilosophie und -prozeduren. Auch das bei dem Einsatz beteiligte fliegerische Personal sowie dessen Training – insbesondere Aktualitätsmanagement und Lizenz- und Ratinganforderungen bzw. bei lizenzfreien Einsätzen andere Qualifikationssicherstellungen – muss detailliert aufgeführt werden und ein Konfigurationsmanagement muss vorhanden sein. Das UAS ist hinsichtlich seiner physikalischen Charakteristik wie Größe, Masse oder Schwerpunkt, den eingesetzten Materialien und Sub-Systemen sowie der Performance darzustellen. Das Antriebssystem ist gesondert zu beschreiben, da es auch in der bemannten Luftfahrt aufgrund seiner Auswirkungen auf das Design und die Performance eine eigene Zulassung besitzt. Dabei müssen nicht nur die Antriebsart, sondern auch Art und Kapazität des Treibstoffs oder der Batterie, die Antriebsleistung und deren Überwachung, kritische Fehlerfälle, das Wiederstarten im Flug und das UA-Verhalten bei Schubverlust beschrieben werden. Weiterhin werden Kontrollflächen und -aktuatoren, Sensoren, zulässige Nutzlasten und deren Auswirkungen auf das UA gesondert dargestellt. Zum UAS gehören neben dem UA wie erwähnt auch andere Systeme: Alle Elemente, die gem. Abb. 13 zwischen Pilot und Luftfahrzeug liegen, müssen beschrieben und Maßnahmen bei deren Verschlechterung oder Ausfall dargestellt werden. Außerdem sind Geo Fencing und weitere Sicherheitsfeatures wie automatische Flugabbruchs- oder Wiederherstellungssysteme zu beschreiben, wenn vorhanden. Bzgl. des Einsatzes müssen neben seiner Art – wie, wo und mit welchen Einschränkungen wird geflogen –, der Bevölkerungsdichte, den Luftraumanforderungen und VLOS oder BVLOS auch die definierten Prozeduren beschrieben werden. Auch die normale Einsatzstrategie, die alle Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Kontrolle des normal funktionierenden Einsatzes beschreibt, Standardeinsatzprozeduren, Prozeduren für einen abnormalen Betrieb, Zwischen- und Notfallprozeduren sowie Prozeduren zum Berichten und Dokumentieren von Not- und Zwischenfällen müssen dargelegt werden.⁸⁷

⁸⁷ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex A Ed 1.0, S. 4ff.

Es ist zu beachten, dass die Beschreibung des ConOps ein iterativer Prozess sein kann, sodass mit SORA angewandte Mitigationen berücksichtigt werden können, die ebenfalls beschrieben werden müssen. Auf diese Weise kann die zuständige Behörde überzeugt werden, dass der Nutzer sich der Gefahren, die von seinem Einsatz ausgehen, bewusst ist und alle Anforderungen eingehalten werden können.⁸⁸

3.1.2 Schritt 2: Ermittlung der UAS-intrinsischen GRC

Anschließend gilt es im zweiten und dritten Schritt die GRC des Einsatzes zu identifizieren. Dazu wird zunächst die ausschließlich durch die Größe bzw. kinetische Energie und die zu überfliegenden Gebiete direkt vom UAS ausgehende intrinsische GRC als Risikoklasse bezogen auf potentiell gefährdete Personen am Boden nach Tabelle 5 ermittelt. Erweitertes VLOS (EVLOS, bspw. durch einen Beobachter) wird für die GRC wie BVLOS betrachtet. Neben den Charakteristika des UAS muss dabei auch das Risikogebiet definiert sein, inklusive der gem. Abb. 17 definierten Volumina, der Fähigkeit eine definierte Position im 4-dimensionalen Raum zu halten – speziell die Genauigkeiten gewählter Navigationslösungen, die sog. „Flight technical Error“ und „Path Definition Error“ sowie Latenzen in der Befehlskette vom Piloten zur UAS-Reaktion – und ob es sich um ein kontrolliertes Bodengebiet handelt oder nicht. Der Ground Risk Buffer muss außerdem mindestens der 1-zu-1-Regel entsprechen, die besagt, dass der minimale horizontale Abstand von Personen und kritischer Infrastruktur mindestens der Einsatzhöhe AGL entsprechen muss. Grundlage der Regel ist die Annahme eines Absturzes mit einem Winkel von 45°, bspw. bei Ausfall eines Rotors eines Quadrocopters. Da es bei kleinen UAS mit einer hohen Vorwärtsgeschwindigkeit zu einer verhältnismäßig hohen zu erwartenden kinetischen Energie kommen kann, können Diskrepanzen zwischen den ersten beiden Zeilen in Tabelle 5 auftreten. Ist dies der Fall, muss eine Begründung der gewählten Spalte formuliert werden. Im Zweifelsfall sollten im Sinne der erhöhten Sicherheit eher konservative Annahmen getroffen werden.⁸⁹

Intention in dieser Tabelle ist, dass die Risikoklasse mit steigender Anzahl potentiell gefährdeter Personen ebenfalls steigt. Ein kontrolliertes Bodengebiet bedeutet hierbei, dass im gewünschten Einsatzgebiet nur aktiv in den Einsatz involvierte Personen (wenn überhaupt) anwesend sind; verantwortlich für dessen Sicherstellung ist der Nutzer. Des Weiteren kann ein Einsatz in einer bewohnten Gegend intrinsisch nicht als schwach besiedelt klassifiziert werden, auch wenn das auf den Boden projizierte Einsatzgebiet komplett in sog. speziellen Risikogebieten (wie Flüssen, Eisenbahnlinien oder Industriegebieten) liegt. In diesen Fällen muss der Nutzer für eine geringere GRC eine niedrigere Dichte und/oder einen Schutz im dritten Schritt der SORA nachweisen.

⁸⁸ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; S. 19.

⁸⁹ Ebenda; S. 19ff.

Tabelle 5: Ermittlung der UAS-intrinsischen GRC

UAS-intrinsische Ground Risk Class				
Maximale UAS-charakteristische Dimension	1 m	3 m	8 m	> 8 m
<i>Typische zu erwartende kinetische Energie</i>	<i>< 700 J</i>	<i>< 34 kJ</i>	<i>< 1084 kJ</i>	<i>> 1084 kJ</i>
Einsatzszenario				
VLOS/BVLOS über kontrolliertem Bodengebiet	1	2	3	4
VLOS in schwach besiedelter Umgebung	2	3	4	5
BVLOS in schwach besiedelter Umgebung	3	4	5	6
VLOS in bewohnter Umgebung	4	5	6	8
BVLOS in bewohnter Umgebung	5	6	8	10
VLOS über Menschenansammlung	7	Nicht von SORA unterstützt.		
BVLOS über Menschenansammlung	8			

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment, Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; S. 20.

3.1.3 Schritt 3: Ermittlung der finalen GRC

Dieser Schritt befasst sich mit der Verringerung der UAS-intrinsischen GRC mit Mitigationen und damit der Bestimmung der endgültigen GRC des Einsatzes. In SORA sind drei Mitigationen, wie in Tabelle 6 aufgeführt, und mit ihren Robustheitsgraden der Höhe der GRC-Verringerung zugeordnet. Die Anpassungen sind eher allgemein gehalten und können auf verschiedene Weisen erreicht werden. Es ist bei der Prüfung dieser Mitigationen und deren etwaiger Anwendung außerdem auf die Reihenfolge zu achten. Das ist insofern wichtig, da die GRC mit M1 nicht weiter reduziert werden kann als die niedrigste der entsprechenden Spalte von Tabelle 5. Durch anschließende Anwendung der anderen beiden Mitigationen kann die finale GRC weiter abgesenkt werden. Die Robustheiten der einzelnen Mitigationen ergeben sich wie in Tabelle 4 dargestellt aus den jeweiligen Integritäts- und Sicherstellungsniveaus. Diese werden ausführlich anhand M1 exemplarisch dargestellt, für die weiteren Mitigationen wird auf die einzelnen Level jedoch nicht näher eingegangen, sondern auf den entsprechenden Annex B des SORA verwiesen. Um den Aufwand einer Mitigation abschätzen zu können, werden dennoch die einzelnen Kriterien genannt und Besonderheiten von Mitigationen hervorgehoben.⁹⁰

⁹⁰ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; S. 21f.

Tabelle 6: Mitigationen der GRC

Mitigations- nummer	GRC Anpassung	Robustheit		
		Niedrig/ Keine	Mittel	Hoch
M1	Strategische Mitigation des Bodenrisikos	0: keine -1: Niedrig	-2	-4
M2	Reduktion der Auswirkungen des Bodenaufschlages	0	-1	-2
M3	Existenz eines vom Nutzer validierten und effektiven Notfallplans	+1	0	-1

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment, Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; S. 21.

Die erste und durch eine mögliche Reduzierung der GRC um vier Stufen bei hoher Robustheit potentiell wertvollste Mitigation ist M1, die sich generell mit der Verringerung der Anzahl der gefährdeten Personen am Boden befasst. Dabei ist neben der Definition des Ground Risk Buffer gem. Abb. 17 und des resultierenden projizierten Einsatzgebietes als zweites Kriterium eine Evaluation der Anzahl potentiell gefährdeter Personen durchzuführen. Es ist zu beachten, dass für einen gewissen Robustheitslevel alle Kriterien – in diesem Fall die Definition des Ground Risk Buffer und die Evaluation potentiell gefährdeter Personen – mit der entsprechenden Robustheit erfüllt werden müssen. Als Spezialfall von M1 werden gefesselte Einsätze aufgeführt und zusätzlich erläutert.

Für den Puffer gilt als Mindestforderung für die Integrität die 1-zu-1 Regel, die den niedrigen Integritätslevel darstellt. Für eine höhere Integrität müssen bei der Definition des Bodenpuffers außerdem „improbable“ Einzelfehler berücksichtigt werden, die zu einem Verlassen des Einsatzgebietes führen würden, meteorologische Bedingungen, Latenzen des UAS, das UA-Verhalten beim Auslösen technischer Mittel, die ein Verlassen des Einsatzgebietes verhindern sollen – z. B. Geo Fencing und/oder sog. „Return-to-Home“-Funktionen – und die UA-Leistung. Zwischen dem mittleren und hohen Integritätslevel wird hier keine Unterscheidung getroffen. Der niedrige Sicherstellungslevel für dieses Kriterium wird durch eine Selbstklärung erreicht. Bei mittlerer Sicherstellung hat der Nutzer unterstützende Nachweise, typischerweise durch Tests, Analysen, Simulation, Inspektion, Designbewertung oder operationelle Erfahrung, einzubringen. Für den hohen Level wird die Integrität von einer unabhängigen Stelle validiert.⁹¹

Der zweite Aspekt dieser Mitigation, der zusätzlich zum ersten Kriterium erfüllt werden muss, ist die Evaluation potentiell gefährdeter Personen. Hier führt der Nutzer für niedrige Integrität Vor-Ort-Inspektionen durch, um eine Verringerung der Dichte gefährdeter Personen rechtfertigen zu können – bei bewohnten Gebieten kann der Einsatz bspw. tagsüber stattfinden,

⁹¹ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex B Ed 1.0, S. 4ff.

über Industriegebieten nachts. Zwischen der hohen und mittleren Integrität wird auch hier nicht unterschieden. Diese werden erreicht, indem zusätzlich zu den Forderungen für niedrige Integrität für das Gebiet und die Tageszeit relevante Personendichtedaten einer zuständigen Behörde verwendet werden, um eine niedrigere Dichte nachzuweisen. Der Nutzer kann auch eine Reduktion aufgrund einer geschützten operationellen Umgebung beantragen, dann darf das UAS eine MTOM von 25 kg und eine Maximalgeschwindigkeit von über 174 knts jedoch nicht überschreiten. Außerdem muss der Nutzer nachweisen, dass trotz einer bewohnten Gegend vertretbar angenommen werden kann, dass sich die meisten nicht aktiv am Einsatz beteiligten Personen innerhalb von Gebäuden befinden. Für die niedrige Sicherstellung ist auch hier eine Selbsterklärung des Nutzers ausreichend. Zum Erreichen des mittleren Levels müssen die durchschnittlichen Dichtedaten einer statistischen Quelle genutzt werden, die für die gewünschte Einsatzzeit anwendbar sind. Zusätzlich müssen die gewünschte Route und das Einsatzgebiet an lokale Stellen, z. B. Polizei oder Grundstückseigentümer, gemeldet werden, um die Annahme einer niedrigeren Personendichte zu verifizieren. Die hohe Sicherstellung fordert zusätzlich zu den Anforderungen des mittleren Levels die Nutzung von dynamischen Quellen, die Dichtedaten echtzeitnah darstellen und für die gewünschte Einsatzzeit anwendbar sind.⁹²

Den Spezialfall von M1 stellt der gefesselte Einsatz dar. Bei dieser effektiven Form der Begrenzung des Einsatzgebietes muss zusätzlich das Seil als Teilsystem des UAS betrachtet und dessen Gefahren mit entsprechenden OSOs berücksichtigt werden. Für das Seil sind wiederum das technische Design nachzuweisen und Verfahren für die Crew zu definieren. Das Integritätslevel unterscheidet hier abermals nicht zwischen mittel und hoch. Für das technische Design ist zu berücksichtigen, dass die Seillänge adäquat für das Einsatzvolumen, die Festigkeiten des Seils und Befestigungspunkte kompatibel mit den erwarteten Bemessungsbruchlasten (Ultimate Loads, UL) sind und dass das Seil nicht durch Rotoren oder Propeller des UAS durchgeschnitten werden kann. Der niedrige Integritätslevel umfasst alles, was diese Anforderungen nicht erfüllt. Auch für den niedrigen Sicherstellungslevel ist diese Aussage anzuwenden, wobei hierbei die Forderungen für mittlere Sicherstellung gemeint sind. Diese fordern unterstützendes Material, typischerweise durch Tests, operationelle Erfahrungen oder Simulationen, das den beantragten Integritätslevel rechtfertigt. Werden Simulationen verwendet, ist außerdem deren Adäquatheit und Anwendbarkeit für den konkreten Einsatz zu berücksichtigen. Hohe Sicherstellung wird durch Validierung des gewünschten Levels durch eine unabhängige Stelle erreicht. Prozeduren müssen für mittleren und hohen Integritätslevel für Installation und periodische Inspektion des Seilzustandes des Seils definiert sein. Wird dies nicht erreicht, ist der Integritätslevel lediglich niedrig. Zur niedrigen Sicherstellung müssen keine anerkannten Standards oder andere Mittel, die von der

⁹² Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex B Ed 1.0, S. 4ff.

zuständigen Behörde als adäquat angenommen werden, berücksichtigt werden und eine Selbsterklärung ist ausreichend. Bei mittlerer Sicherstellung müssen bereits anerkannte Standards und Flugtests oder Simulationen verwendet werden, wobei für einen hohen Sicherstellungslevel zusätzlich die gesamte Enveloppe oder ein konservativer Ansatz nachgewiesen werden und die Prozeduren, Flugtests und Simulationen von einer unabhängigen Stelle validiert sein müssen.⁹³

Die Mitigation M2 soll nach einem Kontrollverlust die Auswirkungen eines Bodenaufschlags durch Reduktion der Aufschlagsdynamik oder Einschränkung der Gefahren nach dem Absturz verringern, u. a. durch Begrenzung des Bereichs oder der Energie, etwa durch Airbags oder einen Fallschirm. Die Kriterien zur Anwendung der ersten Möglichkeit unterscheiden sich im technischen Design, Prozeduren und Training. Beim technischen Design ist bemerkenswert, dass selbst bei einem mittleren Integritätslevel tödliche Auswirkungen möglich sein können. Für alle technischen Maßnahmen muss außerdem nachgewiesen werden, dass deren Fehlfunktion die Einsatzsicherheit nicht gefährdet. Die Prozeduren und das Training beziehen sich hier vor allem auf Installation und Wartung, wobei die Abstufung in die verschiedenen Level allein über die Sicherstellung erreicht wird, für die Integrität wird keine Abstufung durchgeführt. Der Aufwand für Prozeduren ist vergleichbar mit denen des Spezialfalls von M1. Das Training muss für mittlere Sicherstellung über einen definierten Lehrplan verfügen und es muss kompetenzbasiertes, theoretisches und praktisches Training durchgeführt werden. Die Kompetenzen der Crew müssen für einen hohen Level von einer unabhängigen Stelle verifiziert werden, während für einen niedrigen Level wiederum eine Selbsterklärung ausreichend ist. Generell umfasst der niedrige Sicherstellungslevel meist keine anerkannten Standards der entsprechenden Art, der mittlere fordert häufig deren Einhaltung und unterstützende Nachweise, jedoch keine vollständige Verifikation durch Dritte, wie sie für den hohen Level meist notwendig ist.⁹⁴

Die letzte Mitigationsmöglichkeit der GRC – M3 – befasst sich mit einem Notfallplan zur Einschränkung eines potentiellen Crashes und mit Bedingungen und Prozeduren, um das ATM zu alarmieren, wenn sich der Einsatz in einem nicht-wiederherstellbaren Zustand befindet. Er muss für Situationen ausgearbeitet werden, in denen der Ausgang stark vom Zufall abhängt, Störfallprozeduren nicht ausreichen oder wenn schwerwiegende und immanente Gefahr von Fatalitäten besteht. Für die Integrität werden keine Unterteilungen dieser Mitigation vorgenommen. Hierbei ist anzumerken, dass selbst bei einem hohen Integritätslevel noch das Auftreten von Fatalitäten angenommen werden kann, es muss jedoch eine signifikante Reduzierung der Anzahl der gefährdeten Personen nachgewiesen werden. Eine beispielhafte

⁹³ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex B Ed 1.0, S. 7f.

⁹⁴ Ebenda; S. 9ff.

Anwendung hierfür könnte das Filmen einer Großveranstaltung darstellen, bei dem bei einem Notfallplan mit hoher Integrität das UAS weg von Menschenmengen gesteuert oder diese evakuiert wird, aber dennoch Personen außerhalb der Menschenmenge getroffen werden könnten. Bei der Sicherstellung wird neben den Prozeduren selbst auch das Training des Personals berücksichtigt. Der Aufwand hierfür ist jeweils vergleichbar zu dem der zweiten Mitigationsmöglichkeit M2.⁹⁵

Die finale GRC ergibt sich dann als Summe der UAS-intrinsischen GRC und der Änderung durch die angewandten Mitigationen. Ergibt sich eine finale GRC von größer als 7, ist ein Einsatz mit diesen ConOps und den angewandten Mitigationen nicht mit SORA genehmigungsfähig. Ist der Wert kleiner oder gleich 7, kann mit der Ermittlung der ARC fortgefahren werden.⁹⁶

3.1.4 Schritt 4: Ermittlung der initialen ARC

In Schritt vier wird die initiale ARC bestimmt, wobei ARC-a einen Luftraum darstellt, in dem das Kollisionsrisiko ohne taktische Mitigationen akzeptabel sicher ist, und ARC-b, -c und -d solche mit einem jeweils höheren Kollisionsrisiko. Dabei können Nationen und deren Behörden und evtl. U-Space-Servicedienstleister ARC-Karten veröffentlichen, welche die initiale ARC für spezielle Lufträume festlegen. Sind keine ARC-Karten vorhanden, muss die initiale ARC durch Feststellung der Luftraumbegegnungsrate (Airspace Encounter Rate, AEC) als qualitative Klassifizierung von generalisierten Kollisionsrisiken nach der auf der folgenden Seite dargestellten Abb. 19 ermittelt werden. TMZ bezeichnet dabei Bereiche, in denen ein Transponder vorgeschrieben ist (Transponder Mandatory Zone).⁹⁷

⁹⁵ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex B Ed 1.0, S. 12f.

⁹⁶ Nach [46] SORA Ed. 2.0; S. 22.

⁹⁷ Ebenda; S. 22ff.

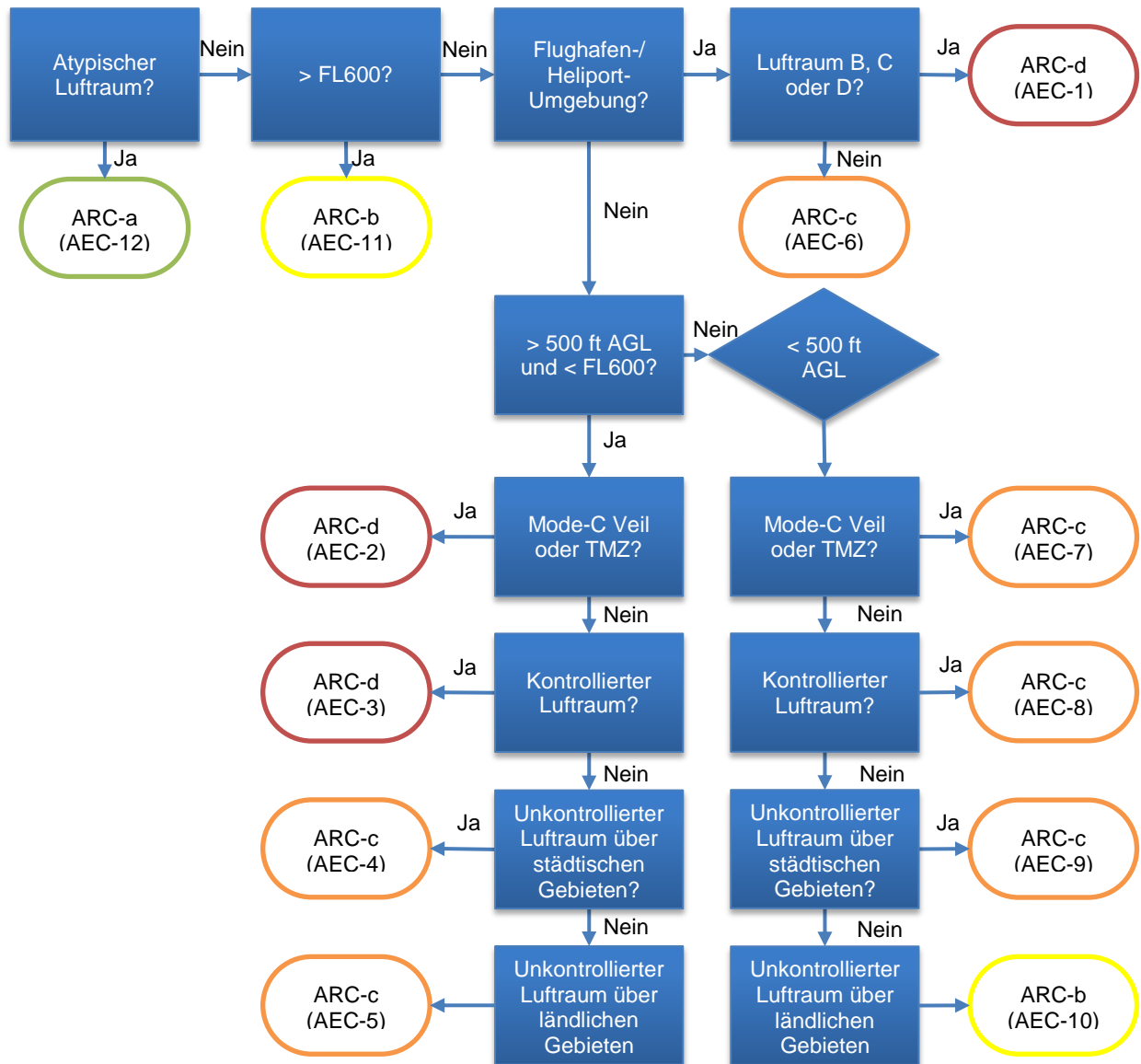


Abb. 19: Ermittlung der initialen ARC

Quelle: Eigene Darstellung nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; S. 23 und Annex C Ed. 1.0, S. 12.

3.1.5 Schritt 5 (optional): Strategische Mitigationen zur Ermittlung der finalen ARC

Zur Reduktion der ARC können in Schritt fünf strategische Maßnahmen getroffen und die Rest-ARC ermittelt werden. Hierbei wird auch berücksichtigt, dass das spezifische Einsatzgebiet zu der gewünschten Einsatzzeit eine andere AEC haben kann, als mit der initialen ARC angenommen. Strategisch sind hier solche Mitigationen, die vor dem Start angewandt werden und keine Feedback-Schleife benötigen. Taktische Mitigationen sind nach dem Start bis zur Landung aktiv und benötigen eine entsprechende Feedback-Schleife, sie werden in Schritt 6 näher betrachtet. Es können strategisches Konfliktmanagement, allgemeine strategische und taktische Mitigationen, Voraussicht, Kontakt zu nationalen Luftfahrtbehörden und

Flughafenkontrollstellen sowie zeitliche, räumliche, Leistungs- und Expositionsgrenzen angewandt werden. Generelles Ziel dieses Schrittes ist es, das Risiko einer Kollision im Flug (Mid Air Collision, MAC) im Einsatzgebiet auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Gem. der Philosophie von SORA werden nur qualitative Maßnahmen dargestellt. Besonders auf diesen Schritt könnte der U-Space einen starken Einfluss haben, wie bereits erwähnt wird er in dieser Arbeit jedoch nicht näher betrachtet.⁹⁸

Es existieren bereits einige regulatorische Forderungen, die besagen, dass jedes Luftfahrzeug die Fähigkeit haben muss, sich von anderem bemannten Luftverkehr fernzuhalten und Kollisionen zu vermeiden (vgl. u. a. 14 CFR 91.111, 91.113, 91.181, SERA 3201, ICAO Annex 2 section 3.2). Hieraus ergeben sich auch die Anforderungen der bemannten Luftfahrt für IFR (Instrument Flight Rules, dt.: Instrumentenflugregeln) und VFR (Visual Flight Rules, dt.: Sichtflugregeln). Die Forderungen sind prinzipiell auch für UAS anwendbar und müssen durch entsprechende sog. Detect and Avoid (DAA)-Systeme sichergestellt werden. Es ist zwar möglich, dass UAS technisch mit IFR-Anforderungen übereinstimmen können, obwohl diese nicht explizit dafür eingeführt wurden, aber das Einsatzgebiet muss auch die entsprechende IFR-Infrastruktur aufweisen. Vor allem für sehr niedrige Lufträume könnte dies von Belang sein. Übereinstimmung mit VFR-Regeln kann mit VLOS erreicht werden.⁹⁹

In besonderen Fällen kann auch bei BVLOS durch den Nachweis einer extrem niedrigen Wahrscheinlichkeit von anderem Luftverkehr auf DAA-Systeme verzichtet werden. Dabei werden zwar die Sicherheitsanforderungen erfüllt, für die Aussetzung der regulatorischen Forderungen sind jedoch Sonderfreigaben notwendig. Voraussetzung ist ein atypischer Luftraum mit AEC 12, der von der zuständigen Behörde so festgelegt ist oder in dem normalerweise kein bemannter Luftverkehr stattfindet, z. B. in sehr geringer Höhe oder in der Nähe von Strukturen. Nach [47] SORA Ed. 1.2, Annex C V1.3 darf die Begegnungsrate nicht größer sein als $1 * 10^{-4}/FH$ für die AEC 7, 8, 9, 10 sowie 4 und 5 unter 1.200 ft AGL und nicht größer als $1 * 10^{-6}/FH$ für die AEC 6a-c (im neuen Modell ist lediglich AEC 6 vorhanden) und 1, 2, 3 unter FL180 sowie 4 und 5 zwischen 1.200 ft AGL und FL180. In [46] SORA Ed. 2.0, Annex C Ed. 1.0 werden diese Zahlen nicht mehr explizit aufgeführt. Es wird auf den noch zu erstellenden Annex G verwiesen, ob diese quantitativen Begegnungsraten in einer finalen Version noch vorhanden sind, ist unklar.¹⁰⁰

Begrifflich werden verschiedene Fluggebiete unterschieden: Flughafen-/Heliport-Umgebung mit AEC 1 und 6, sehr niedriger Luftraum (Very Low Level, VLL) unter 500 ft AGL mit AEC 7-10, integrierter Luftraum zwischen 500 ft AGL und FL600 mit AEC 2-5, über FL600

⁹⁸ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex C Ed 1.0, S. 3f.

⁹⁹ Ebenda; S. 4f.

¹⁰⁰ Siehe [47] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 1.2, JARUS WG 6, 31.05.2018; Annex C V1.3, S. 5.

sehr hoher Luftraum (Very High Level, VHL) mit AEC 11 und atypischer oder abgetrennter Luftraum mit AEC 12. Da in der bemannten Luftfahrt meist die Druckkabine, die bei UAS nicht nötig ist, einen limitierenden Einfluss auf die Flughöhe hat, können UAS besonders gut für VHL-Einsätze genutzt werden. Dort ist die Wahrscheinlichkeit einer Begegnung mit bemannter Luftfahrt nahezu ausgeschlossen.¹⁰¹

Grundlage für die Betrachtung der ARC ist die Annahme, dass bedrohter Luftverkehr nicht ausweichen kann – vor allem große Passagier- und Transportflugzeuge haben eine träge Reaktionsfähigkeit – und ein Zusammenstoß immer zu einem katastrophalen Ereignis führt. Personentragende UAS werden von SORA ausgenommen, sodass die Zerstörung des UAS nicht zwangsläufig zu einer Fatalität führt. Diese UAS werden voraussichtlich in der zertifizierten Kategorie zu betreiben sein, in derzeitigen Regelungen sind sie jedoch noch nicht abgebildet.¹⁰²

Für die Ermittlung der Rest-ARC wird der Prozess nach Abb. 20 verfolgt. Wie im linken Bereich der Abbildung zu sehen ist, bestehen die strategischen Mitigationen mit dem Ziel, die UAS-Begegnungsrate oder die Expositionszeit vor dem Start zu verringern, einerseits aus gängigen Strukturen und Regelungen und andererseits aus operationellen Einschränkungen. Erstere sind vom Nutzer nicht beeinflussbar und bestehen aus allgemein gültigen Luftfahrt- und Luftraumregeln und -strukturen, die vor allem für den Bereich unter 500 ft bisher kaum vorliegen. Hier kann U-Space große Vorteile bringen. Dabei müssen die Regeln von allen Luftraumnutzern eingehalten werden, sodass eine effektive Reduktion des Luftkonfliktrisikos ermöglicht oder Konfliktlösungen vereinfacht werden – Beispiele hierfür können sog. „right of way rules“, implizite und explizite Schemata, Sichtbarkeitsanforderungen oder kooperative Identifikationssysteme beinhalten. Strukturen werden durch die Kontrolle der Luftrauminfrastruktur mithilfe physikalischer Charakteristika, Prozeduren und Techniken erreicht, die Konflikte reduzieren und Lösungen vereinfachen sollen – bspw. kommen Airways, An- und Abflugprozeduren oder Airflow Management in Betracht. Operationelle Einschränkungen hingegen sind vom Nutzer beeinflussbar und steuerbar. Dabei können zeitliche Einschränkungen, bspw. Flug nur zu bestimmten Tageszeiten, ebenso zur Anwendung kommen wie örtliche sowie Beschränkungen der Flugzeit und somit der Expositionszeit. Die rechte Seite der Abbildung wird in Schritt 6 betrachtet.¹⁰³

¹⁰¹ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex C Ed 1.0, S. 12.

¹⁰² Ebenda; S. 5.

¹⁰³ Ebenda; S. 7ff.

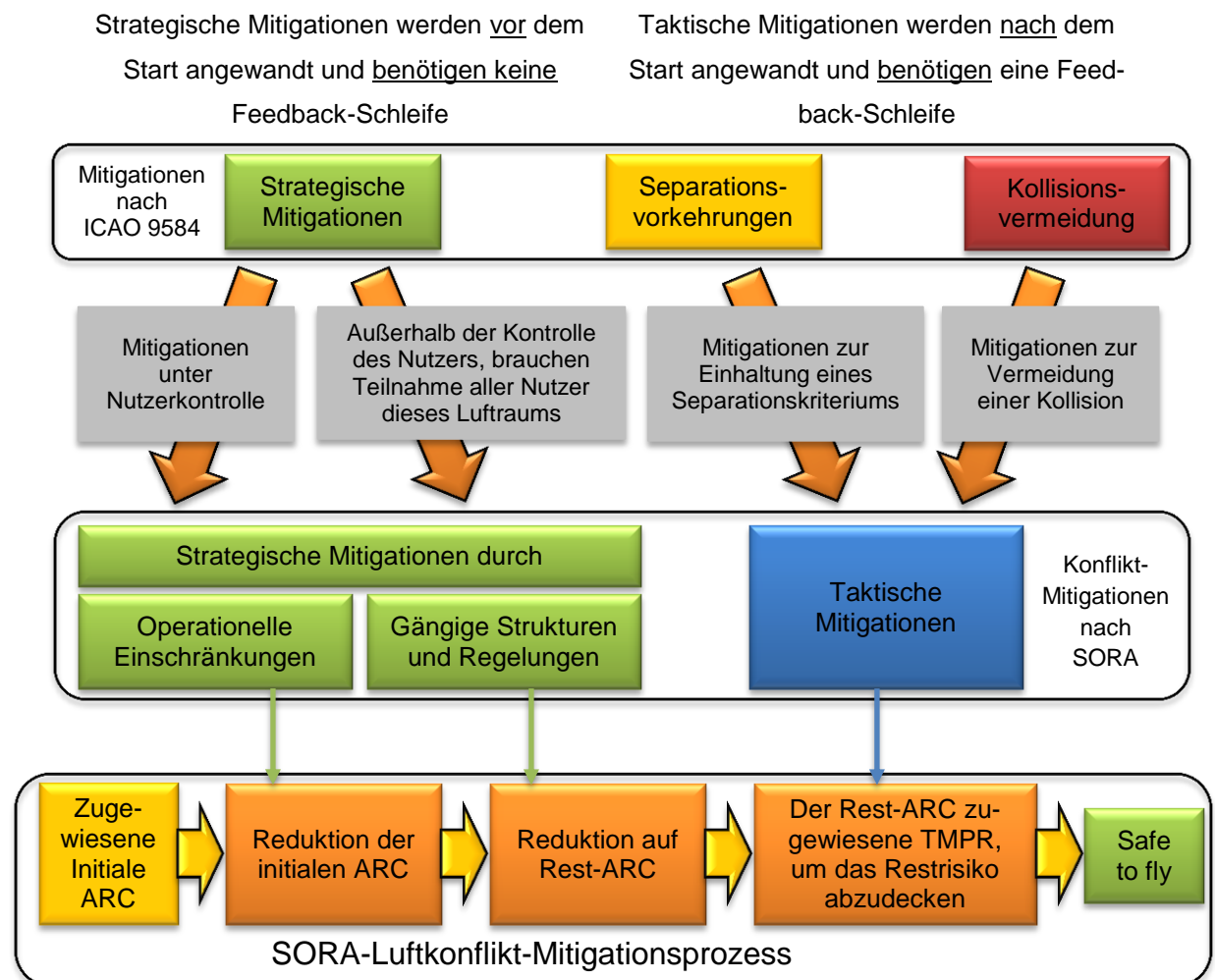


Abb. 20: ARC-Prozess in SORA

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; Annex C Ed. 1.0, S. 6.

Sollen zur Reduktion der ARC auf eine niedrigere Rest-ARC strategische Mitigationen angewandt werden, muss der Nutzer nachweisen, dass für seinen Einsatz inkl. der operationellen Einschränkungen die Luftverkehrsdichte und somit das Risiko für eine MAC niedriger ist als in der initialen ARC angenommen. Dieses Risiko hängt im Wesentlichen von der Wahrscheinlichkeit, Geometrie und Dynamik der Konfliktpartner ab, wobei SORA lediglich die Modifikation der Wahrscheinlichkeit erlaubt. Dabei kann nie ARC-a erreicht werden, da hierfür die Anforderungen für atypischen Luftraum mit AEC 12 wie oben beschrieben erfüllt sein müssen. Die genauen Anforderungen werden im noch zu verfassenden Annex G von SORA ausgeführt. Werden diese erfüllt, kann jedoch jeder Luftraum als AEC 12 und somit ARC-a deklariert werden. Es ist zu beachten, dass der Verifikation der Einhaltung des Sicherheitsniveaus hierbei große Beachtung zu schenken ist, da der Einsatz ohne taktische Mitigationen durchgeführt werden kann. Außerdem können zuständige Behörden und/oder Flugsicherungen zusätzliche Anforderungen für das Einsatzvolumen fordern. Wird kein AEC 12-Luftraum

angenommen, stellt ARC-b den niedrigsten möglichen ARC dar. Daher müssen auch Lufträume mit einer initialen ARC-b (AEC 10 und 11) für die strategischen Mitigationen nicht näher betrachtet werden. Für die übrigen AEC kann die Rest-ARC nach Tabelle 7 verringert werden, wenn die zugehörige verringerte Dichte nachgewiesen werden kann. Die initiale Dichtebewertung auf einer qualitativen Skala von 1 (sehr niedrig) bis 5 (sehr hoch) wurde von einer Fachexpertengruppe innerhalb von JARUS ermittelt. Die Referenz für eine Dichte von 1 stellt AEC 10 dar. Es soll angemerkt werden, dass bei AEC 3 eine Diskrepanz innerhalb [46] SORA Ed. 2.0, Annex C Ed. 1.0 zwischen einem initialen Dichterating von 5 auf Seite 12 und 4 auf Seite 14 auftritt. Da andernfalls kein Dichterating 4 beträgt und dieser Wert bereits in [47] SORA Ed. 1.2, Annex C V1.3 für AEC 3 aufgeführt war, wird hier das Dichterating von 4 angenommen. Bei möglichen späteren Versionen sollte diese Annahme nochmals verifiziert werden.¹⁰⁴

Tabelle 7: Mögliche strategische Mitigationen durch operationelle Einschränkungen

AEC	Initiales generalisiertes Dichterating	Initiale ARC	Nachgewiesene lokale Dichte	Rest-ARC
AEC 1 oder 2	5	ARC-d	4 oder 3	ARC-c
			2 oder 1	ARC-b
AEC 3	4	ARC-d	3 oder 2	ARC-c
			1	ARC-b
AEC 4	3	ARC-c	1	ARC-b
AEC 5	2	ARC-c	1	ARC-b
ARC 6 oder 7 oder 8	3	ARC-c	1	ARC-b
AEC 9	2	ARC-c	1	ARC-b

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment, Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; Annex C Ed. 1.0, S. 14.

Durch Strukturen und Regelungen kann diese ARC weiter reduziert werden. Heutzutage verringern Luftraumregeln und -strukturen das Kollisionsrisiko in der Luftfahrt. Steigt dieses bspw. durch Erhöhung der Luftverkehrsdichte, müssen neue Strukturen und Regeln eingeführt werden, um das Sicherheitslevel zu halten. Bemannter Luftverkehr nutzt i. d. R. keinen VLL-Luftraum, da dieser zu niedrig für adäquate Notfallprozeduren ist. Durch UAS steigt der Verkehr in diesem Bereich, sodass Regeln und Strukturen für diese etabliert werden können, u. a. durch den einheitlichen U-Space. Da die bereits stark reglementierte bemannte Luftfahrt nicht eingeschränkt werden soll, sind diese Regeln daher nur für den VLL-Luftraum anzuwenden. Somit sind die Lufträume mit AEC 1-5 – hier sind bereits bemannte Luftraumregeln

¹⁰⁴ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex C Ed 1.0, S. 10f.

und -strukturen vorhanden an die sich der Nutzer halten muss; eine nochmalige Mitigation mit Regeln und Strukturen würde daher zu einer Doppelung führen – und AEC 11 nicht weiter zu berücksichtigen, ebenso wie solche mit AEC 10, da dieser bereits ARC-b ist und eine Reduktion auf ARC-a nur mit den Anforderungen für atypischen oder abgetrennten Luftraum erreicht werden kann. Zu AEC 6 wird keine Aussage getroffen, per Definition ist dieser Luftraum jedoch in einer Flughafen-/Heliport-Umgebung in Luftraum E, F oder G anzuwenden. Da die Lufträume E und F über 500 ft liegen, Luftraum G außerhalb der Flughafen-/Heliport-Umgebung durch andere AECs abgedeckt ist und in der Nähe von Landeplätzen normalerweise bestimmte Regeln und Strukturen gelten, wird angenommen, dass auch für diese Lufträume keine Reduktion durch Strukturen und Regelungen erreicht werden kann. Somit können diese Mitigationen nur für AEC 7, 8 und 9 angewendet werden, sofern deren Rest-ARC nicht bereits ARC-b entspricht. Die maximale Reduktion der ARC durch diese Art von Mitigationen beträgt eine Klasse. Mögliche Regelungen könnten elektrische kooperative Systeme (vgl. ACAS in der bemannten Luftfahrt o. ä.), Anti-Kollisionslichter, spezielle Prozeduren zur Verifikation anderen Verkehrs und um diesen über den UAS-Einsatz zu informieren oder u. U. eine Erlaubnis des Luftraumbesitzers beinhalten. Derartige Mitigationen müssen durch die nationalen Luftfahrtbehörden durch die Implementierung entsprechender Regelungen ermöglicht werden, da ein einzelner UAS-Nutzer keine neuen Regeln für anderen Luftverkehr in seinem Einsatzgebiet erlassen kann. Sind solche Regeln vorhanden, müssen sich alle oder die meisten Luftverkehrsteilnehmer in diesem Bereich auch daran halten. Verfahren zur Unterstützung der Separation von UAS, an die sich alle Luftraumnutzer halten, könnten ein prozeduraler Separationsservice zur Meidung bemannten Luftverkehrs für VLL oder direkte Kommunikationswege zu ATC und/oder Fluginformationssystemen darstellen.¹⁰⁵

Sind alle entsprechenden Nachweise erbracht, kann die Rest-ARC von der zuständigen Behörde festgelegt werden und es kann mit dem sechsten Schritt des SORA-Prozesses nach Abb. 18, der Anwendung taktischer Mitigationen, fortgefahren werden. Diese haben keinen Einfluss auf die ARC, sodass die bisher ermittelte Rest-ARC in die SAIL-Bestimmung in Schritt sieben eingeht.

3.1.6 Schritt 6: *TMPR und Robustheitsgrade*

Anders als ICAO 9854 sieht SORA wie auf der rechten Seite von Abb. 20 dargestellt bei taktischen Mitigationen keinen Unterschied zwischen Separationsvorkehrungen und Kollisionsvermeidung, sondern betrachtet beide als ein abhängiges System wie „See and Avoid“. In der bemannten Luftfahrt gilt dies normalerweise als letzte Möglichkeit der Kollisionsvermeidung, wenn alle technischen Maßnahmen versagen. Generell sind taktische Mitigationen solche, die mit Feedback-Schleifen nach dem Start angewendet werden. SORA nutzt

¹⁰⁵ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex C Ed 1.0, S. 15ff.

hierfür eine fortlaufende Funktion, die sich angefangen bei Separationsvorkehrungen über die Zeit weiter zu Kollisionsvermeidung hin ändert. Es wird dabei angenommen, dass der Pilot unterstützt von Systemen, die taktische Mitigationen zur Verfügung stellen, auftretende Konflikte lösen kann. Dafür können VLOS- und u. U. EVLOS-Einschränkungen als Mitigation angewendet werden, spätestens jedoch bei BVLOS-Einsätzen müssen alternative Systeme wie DAA-Systeme vorhanden sein.¹⁰⁶

Der sechste Schritt beinhaltet daher Anforderungen an die taktischen Mitigationen (TMPR). Diese sind nach dem Start aktiv und benötigen eine Feedback-Schleife. Ziel der TMPR ist die Reduzierung des Kollisionsrisikos durch geometrische und dynamische Modifikation von beteiligtem Luftverkehr. Um andere Luftverkehrsteilnehmer zu entdecken und Aktionen zur Vermeidung von Konflikten und MACs durchzuführen, kommen basierend auf Echtzeit-Konfliktinformationen zwei Möglichkeiten in Betracht: VLOS, bei dem der Pilot und/oder ein Luftraumbeobachter die menschliche Sicht ohne Unterstützung außer Fehlsichtigkeitskorrekturen nutzen, und BVLOS mit Alternativen zur menschlichen Sicht durch technische Mittel wie TCAS, DAA oder U-Space oder technisch unterstützte Maßnahmen wie ATC-Separationsservices.

Generell ist VLOS eine akzeptable Mitigation des Kollisionsrisikos für alle ARC-Level, es ist jedoch darauf zu achten, dass es nicht sowohl als taktische als auch strategische Mitigation genutzt wird und somit zweifach in die Mitigationbetrachtung einfließt. Dennoch sind Nutzer angehalten, bei der Verwendung von VLOS als taktischer Mitigation zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen, um das Situationsbewusstsein zu erhöhen. Neben der Beschränkung des Betriebs auf Sichtweite, was normalerweise als AMC für „See and Avoid“ und Kollisionsvermeidungsanforderungen von 14 CFR 91.111, 113, 181, SERA 3201 und ICAO Annex 2 section 3.2 angesehen wird, ist daher auch eine Konfliktentschärfungsstrategie notwendig, die vorgelegt werden muss. Dabei sind Methoden zur Detektion und Kriterien für Entscheidungen zur Vermeidung von eintreffendem Luftverkehr zu beschreiben. Wird der Einsatz durch einen zusätzlichen Luftraumbeobachter unterstützt, ist auch die Kommunikation zwischen diesem und dem Piloten zu beschreiben.¹⁰⁷ Die folgenden TMPRs müssen für VLOS oder EVLOS nicht erfüllt werden. Vor allem bei großen, starrflügeligen UAS mit einer gewissen Trägheiten sollte aber auch für diese Einsätze eine Analyse durchgeführt werden, ob zwischen dem Entdecken von anderem Luftverkehr und einem potentiellen Zusammenstoß ausreichend Zeit ist, um Ausweichmaßnahmen zu ergreifen und durchzuführen. Der komplette Verzicht auf Anforderungen wird hier eher kritisch gesehen.

¹⁰⁶ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; S. 24.

¹⁰⁷ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex D Ed. 1.0, S. 4f.

Bei einem BVLOS-Einsatz müssen technische DAA-Systeme angewendet werden. Dabei muss die Summe aller taktischen Mitigationen ausreichen, das Restrisiko zu mitigieren. Somit müssen bei einem hohen Rest-ARC die TMPRs entsprechend ebenfalls hoch sein. TMPRs definieren dabei die Gesamtperformance, die je nach ARC abgestuft von allen taktischen Mitigationen kombiniert erbracht werden muss. Sie mitigieren das Konfliktrisiko mit der Ausrüstung des UAS und des Konflikt-Luftfahrzeuges von Fall-zu-Fall und nutzen ein Set von Unterfunktionen der DAA-Routine, namentlich Sehen/Entdecken, Entscheiden, Kommandieren, Ausführen und die Feedback-Schleife. Werden mehrere Mitigationen verwendet, muss deren Interaktion berücksichtigt werden. Es ist zu beachten, dass auch unabhängige Systeme, die zur gleichen Zeit reagieren, zu einem unerwarteten Ergebnis führen können.¹⁰⁸

Bei ARC-d geht man davon aus, dass viel bemannter Luftverkehr vorhanden ist, strategische Mitigationen nicht ausreichen und somit das Kollisionsrisiko hoch ist. Das UAS operiert vollständig im integrierten Luftraum, weshalb die TMPR und deren Robustheiten hoch sein müssen. Für jede der Kernfunktionen müssen anerkannte Standards wie RTCA SC-228, EUROCAE 105 MOPS/MASPS o. ä. erfüllt werden und die Systeme sind entsprechend den anzuwendenden Anforderungen zu installieren. Des Weiteren darf das relative Systemrisiko nicht größer 0,1 sein. Das relative Risiko stellt laut SORA das Verhältnis dar zwischen den Wahrscheinlichkeiten bei gegebenem Encounter einer Beinahe-MAC mit und ohne Mitigationen. Ein Encounter ist dabei anderer Luftverkehr innerhalb von 3 000 ft horizontalem und 350 ft vertikalem Abstand, eine Beinahe-MAC liegt bei einem Abstand von unter 500 ft horizontal und 100 ft vertikal vor. Für weitere Informationen zum relativen Systemrisiko und seiner Ermittlung wird auf den noch nicht veröffentlichten Annex G des SORA verwiesen.¹⁰⁹

Für ARC-a wiederum gibt es keine speziellen TMPR, da hier bereits quasi keine Kollisionsgefahr besteht und es werden keine Anforderungen an das relative Systemrisiko gestellt. Falls für diesen Luftraum vorgeschrieben oder von der zuständigen Behörde gefordert, könnten Nutzer dennoch eine Form von Mitigation zeigen müssen. In ARC-c gelten mittlere Anforderungen und Robustheiten, das relative Systemrisiko muss aber in jedem Fall unter 0,33 liegen. Es müssen ähnliche Systeme zur Unterstützung der Detektion wie in der bemannten Luftfahrt vorhanden sein und Ausweichmanöver müssen besser sein als bei niedrigen Anforderungen. Diese reichen mit einer niedrigen Robustheit für ARC-b-Luftraum aus und die Ausweichmanöver bestehen bei Einsätzen unter 500 ft meist darin, schnell auf eine Höhe zu sinken, in der kein Luftverkehr stattfindet. Hier darf das relative Systemrisiko nicht größer als 0,66 sein.¹¹⁰

Eine Gegenüberstellung der Anforderungen für ARC-b und ARC-c für die jeweiligen Kernfunktionen ist in Tabelle 8 zu sehen.

¹⁰⁸ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex D Ed. 1.0, S. 7.

¹⁰⁹ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; S. 25f und [46] SORA Ed. 2.0; Annex D Ed. 1.0, S. 6.

¹¹⁰ Ebenda.

Tabelle 8: Vergleich der TMPR-Forderungen für ARC-b und ARC-c

	ARC-b: niedrige TMPR-Performance	ARC-c: mittlere TMPR-Performance
Entdecken	Entdecken von etwa 50% aller Luftfahrzeuge im Entdeckungsvolumen (ohne Berücksichtigung von Fehlern oder Ausfällen). Der Nutzer muss mit mind. einem folgender Instrumente Kenntnis über den meisten Verkehr im gewünschten Flugbereich haben: <ul style="list-style-type: none"> - (Web-basierter) Echtzeit-Luftfahrzeug-Tracking-Service - Low Cost ADS-B In/UAT/FLARM/PilotAware Flugzeug-Tracker, - UTM Dynamisches Geo Fencing, - Monitoring von aeronautischer Radiokommunikation (z.B. Scanner) 	Entdecken von etwa 90% aller Luftfahrzeuge im Entdeckungsvolumen mit mind. einem folgender Instrumente: <ul style="list-style-type: none"> - Bodengestütztes DAA/RADAR - FLARM/PilotAware - ADS-B In/UAT In Receiver - ATC Separations-Service - UTM Surveillance Service - UTM Konfliktfrüherkennungs- und Lösungsservice, - Aktive Kommunikation mit ATC und anderen Luftraumnutzern Zusätzlich: Bewertung der Effektivität der gewählten Entdeckungs-Tools/-Methoden
Entscheiden	Dokumentierte Konfliktvermeidungsstrategie, in der die genutzten Entdeckungs-Tools/-Methoden und Kriterien zur Meidung eintreffenden Verkehrs beschrieben werden. Bei Detektion durch Dritte muss die Kommunikation beschrieben sein.	Wie ARC-b, zusätzlich: <ol style="list-style-type: none"> 1. Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstellen-(MMS-)Faktoren, die die zeitliche und korrekte Reaktion beeinflussen können, 2. Effektivitätsbewertung der für zeitliche Entdeckung und Ausweichen genutzten Tools/Methoden (kann innerhalb 5 s nach Entdeckung entscheiden) Zusätzlich: Bewertung der Fehlerraten oder Verfügbarkeiten jedes genutzten Tools oder Services.
Kommandieren	Die Latenz des gesamten C2-Link, also die Zeit zwischen dem Moment in dem der Pilot den Befehl gibt und das UA ihn ausführt, darf nicht größer als 5 s sein.	Die Latenz des gesamten C2-Link, also die Zeit zwischen dem Moment in dem der Pilot den Befehl gibt und das UA ihn ausführt, darf nicht größer als 3 s sein.
Ausführen	UA sinkt auf eine Höhe nicht höher als die nächsten Bäume, Gebäude oder Infrastrukturen oder unter 60 ft AGL. Das UA soll in der Lage sein von der Einsatzhöhe in weniger als einer Minute auf diese sichere Höhe sinken zu können.	Kann auf vertikalen oder horizontalen Manövern beruhen, in Standardprozeduren zu beschreiben. Horizontal: Nachweis ausreichender Performance (hins. Fluggeschwindigkeit, Steig-/Sinkraten, Wenderaten, etc.). Vorgeschlagene minimale Performance-Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> - Fluggeschwindigkeit ≥ 50 knts - Steig-/Sinkrate ≥ 500 ft/min - Wenderate ≥ 3 %/s
Feedback-Schleife	Bei elektronischen Hilfsmitteln zur Entdeckung: Information inkl. der die Entscheidungskriterien unterstützenden Latenzzeit und Updaterate. Als ausreichend angenommen: 3 NM Grenze, 5 s Updaterate, 10 s Latenzzeit.	Information inkl. der die Entscheidungskriterien unterstützenden Latenz und Updaterate. Bewertung der erschwerten Schließraten unter Berücksichtigung von erwartetem Verkehr in dem Gebiet, Informationsupdaterate und -latenz, C2-Link-Latenz, Manövrierbarkeit und Performance des UAS und entsprechende Festsetzung der Detektionsgrenze. Vorgeschlagene Minimal -Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> - Vektordaten-Updateraten ≤ 3 s

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; Annex C Ed. 1.0, S. 7ff.

Für ARC-a sind keine besonderen taktischen Mitigationen gefordert. Sind dennoch technische Systeme vorhanden, ist deren Integritätslevel durch die Wahrscheinlichkeit des erlaubten Verlustes von Funktion und Performance des Mitigationssystems von unter $1 \cdot 10^{-2}/FH$ gewährleistet, was in kommerziell verfügbaren Produkten als Standard angesehen wird, eine quantitative Analyse ist daher nicht erforderlich. Für die Sicherstellung gibt es keine Anforderungen. Für ARC-b ist keine höhere Integrität gefordert als für ARC-a, es ist jedoch zur

Sicherstellung eine Selbsterklärung des Nutzers notwendig, dass taktische Mitigationen das Kollisionsrisiko auf ein akzeptables Maß begrenzen. Die Sicherstellung für ARC-c erfordert zusätzlich unterstützende Nachweise, für die Integrität ist der Wahrscheinlichkeitswert auf unter $1 * 10^{-3}/FH$ zu begrenzen, was gem. [31] AMC RPAS.1309 „probable“ Fehlern entspricht. Bei ARC-d hat die Integrität die Ausfallwahrscheinlichkeit weniger als $1 * 10^{-5}/FH$ zu betragen und es ist eine quantitative Analyse erforderlich. Zur Sicherstellung müssen die Nachweise hier durch eine unabhängige Stelle verifiziert sein.¹¹¹

3.1.7 Schritt 7: SAIL-Ermittlung

Werden VLOS oder EVLOS angewandt oder bei technischen Mitteln alle TMPRs erfüllt, kann in Schritt sieben der SAIL des Einsatzes aus der finalen GRC und der Rest-ARC ermittelt werden. Er stellt den Level des Vertrauens, dass der UAS-Einsatz unter Kontrolle bleibt, dar und wird nach Tabelle 9 in sechs Stufen eingeteilt.

Tabelle 9: SAIL Ermittlung

SAIL Ermittlung				
	Rest-ARC			
Finale GRC	a	b	c	d
≤ 2	I	II	IV	VI
3	II	II	IV	VI
4	III	III	IV	VI
5	IV	IV	IV	VI
6	V	V	V	VI
7	VI	VI	VI	VI
> 7	Kategorie C Einsatz			

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019; S. 27.

3.1.8 Schritt 8: Identifikation der OSOs

Aus dem SAIL werden in Schritt acht die Robustheitslevel der OSOs ermittelt. Diese stellen eine Sammlung von Anforderungen dar, die aus der Historie der unbemannten und bemannten Luftfahrt durch eine Vielzahl von Experten erstellt wurde. Eine Auflistung der OSOs und die Zuordnung der Robustheitslevel zu den SAIL kann Tabelle 10 entnommen werden. Hier beschreibt „O“, dass die OSO optional ist, „1“ einen niedrigen, „2“ einen mittleren und „3“ einen hohen Robustheitslevel.

¹¹¹ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex D Ed. 1.0, S. 10f.

Tabelle 10: Zuordnung der Robustheitslevel der OSOs zu den einzelnen SAIL

		SAIL					
		I	II	III	IV	V	VI
Technischer Fehler des UAS		Robustheitslevel					
OSO#01	Nutzer ist kompetent und/oder geprüft	O	1	2	3	3	3
OSO#02	UAS ist von kompetentem und/oder geprüftem Unternehmen hergestellt	O	O	1	2	3	3
OSO#03	UAS ist von kompetentem und/oder geprüftem Unternehmen gewartet	1	1	2	2	3	3
OSO#04	UAS ist nach anerkannten Design-Standards entwickelt	O	O	O	1	2	3
OSO#05	UAS ist unter Berücksichtigung von Systemsicherheit und -zuverlässigkeit designt	O	O	1	2	3	3
OSO#06	C3-Link-Leistung ist für den Einsatz ausreichend	O	1	1	2	3	3
OSO#07	UAS-Inspektionen (Produktinspektion), um Konsistenz zu den ConOps zu gewährleisten	1	1	2	2	3	3
OSO#08	Operationelle Prozeduren sind definiert, validiert und werden eingehalten	1	2	3	3	3	3
OSO#09	Steuercrew ist trainiert, auf dem aktuellen Stand und fähig abnormale Situationen zu beherrschen	1	1	2	2	3	3
OSO#10	Sicheres Erholen von technischen Fehlern	1	1	2	2	3	3
Verschlechterung externer Systeme, die den UAS Einsatz unterstützen							
OSO#11	Prozeduren um die Verschlechterung dieser Systeme zu handhaben sind vorhanden	1	2	3	3	3	3
OSO#12	UAS ist designt, um die Verschlechterung dieser Systeme zu managen	1	1	2	2	3	3
OSO#13	Externe Services, die den UAS-Einsatz unterstützen, sind adäquat für den Einsatz	1	1	2	3	3	3
Menschliches Versagen							
OSO#14	Operationelle Prozeduren sind definiert, validiert und werden eingehalten	1	2	3	3	3	3
OSO#15	Steuercrew ist trainiert, auf dem aktuellen Stand und fähig abnormale Situationen zu beherrschen	1	1	2	2	3	3
OSO#16	Multi Crew Coordination wird angewandt	1	1	2	2	3	3
OSO#17	Steuercrew ist einsatzbereit	1	1	2	2	3	3
OSO#18	Automatischer Schutz der Flight-Envelope vor menschlichem Versagen	O	O	1	2	3	3
OSO#19	Sicheres Erholen von menschlichem Versagen	O	O	1	2	2	3
OSO#20	Eine Human Factors-Bewertung wurde durchgeführt und die MMS ist ausreichend für die Mission	O	1	1	2	2	3
Ungünstige Einsatzbedingungen							
OSO#21	Operationelle Prozeduren sind definiert, validiert und eingehalten	1	2	3	3	3	3
OSO#22	Steuercrew ist trainiert, um kritische Umgebungsbedingungen zu erkennen und zu meiden	1	1	2	2	2	3
OSO#23	Umgebungsbedingungen für sicheren Betrieb sind definiert, messbar und eingehalten	1	1	2	2	3	3
OSO#24	UAS designt und qualifiziert für nachteilige Umgebungsbedingungen	O	O	2	3	3	3

Quelle: Nach [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment, Ed. 2.0, JARUS

Im Wesentlichen kann dabei gesagt werden, dass für die niedrige Robustheit zumeist keine anerkannten Standards verwendet werden müssen und eine Selbsterklärung ausreichend ist. Für mittlere Robustheit muss unterstützendes Material wie Tests, Simulationen oder Erfahrungsnachweise vorhanden sein und die Anwendung anerkannter Standards oder anderer von der zuständigen Behörde als akzeptabel eingestuft Mittel nachgewiesen werden. Diese Nachweise müssen für den hohen Robustheitslevel von einer unabhängigen Stelle validiert werden. Auf einige wichtige OSOs wird hier nochmals genauer eingegangen.

Es wird zunächst OSO#01 betrachtet, die ab SAIL IV mit hoher Robustheit erfüllt werden muss. Hier ist für den hohen Sicherstellungslevel wie in der zertifizierten Kategorie ein ROC erforderlich (siehe Kapitel 2.2.3) und die Nutzerkompetenz wird durch regelmäßige Audits verifiziert, sodass für den Nutzer bereits ab SAIL IV ähnliche Anforderungen gelten wie für Nutzer der zertifizierten Kategorie. Es sei dabei anzumerken, dass UAS-Hersteller gem. OSO#02 und -Wartungsbetriebe gem. OSO#03 selbst für hohe Robustheit keine Anerkennung als Herstellungs-, Design- oder Wartungsorganisation benötigen.¹¹² Es werden einige zu erfüllende Voraussetzungen genannt und auch regelmäßige Audits verlangt, sodass sich die Anforderungen für hohe Robustheiten stark denen einer Zulassung annähern, eine offizielle Anerkennung wie in der zertifizierten Kategorie ist jedoch nicht gefordert. Generell ist für die OSOs#02, #04 und #05 zu beachten, dass aufgrund des nutzerkonzentrierten Ansatzes von SORA Hersteller keinesfalls verpflichtet sind, Designinformationen herauszugeben oder Audits durchführen zu lassen. Es wird lediglich dargestellt, dass Hersteller, die in SORA mit dem Entwickler zusammengefasst sind, ihre einzigartige Designkenntnis einem oder mehreren Nutzern oder Behörden zur Verfügung stellen können.¹¹³ Ohne ausreichende Kooperation des Herstellers können die OSOs zumindest für höhere Robustheiten nicht nachgewiesen werden. In diesem Fall muss ein anderes UAS genutzt oder der Einsatz so angepasst werden, dass ein geringeres SAIL erreicht wird, für dessen Anforderungen die Unterstützung des UAS-Herstellers ausreicht. Es ist jedoch auch im Interesse des Herstellers, wenn seine UAS bei möglichst vielen Einsätzen genutzt werden können, mehr hierzu in Kapitel 4.¹¹⁴

Als nächstes wird OSO#04 dargestellt. Hier wird bereits für eine niedrige Robustheit die Einhaltung von Designstandards oder anderen von der Behörde als adäquat angesehenen Mitteln gefordert. Für eine höhere Robustheit ändert sich lediglich, dass die verwendeten Mittel für den höheren Level ausreichend sein müssen. Hier hat die zuständige Behörde einen besonders großen Spielraum, da die Adäquatheit für den Robustheitslevel und den Einsatz nicht näher definiert ist. Der Nachweis der Einhaltung erfolgt wieder abgestuft über Selbsterklärung, unterstützende Nachweise bis zur Validierung durch eine unabhängige Stelle.¹¹⁵

¹¹² Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 5f.

¹¹³ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; S. 15.

¹¹⁴ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 4.

¹¹⁵ Ebenda; S. 7.

Eine große Bedeutung für die Sicherheit hat OSO#05, die bereits für niedrige Robustheit eine FHA und Design- und Installationsbewertungen verlangt, welche die Minimierung von Gefahren ab der Klasse Major bei „probable“ Fehlern begründen. Bei mittlerer Robustheit kommt eine Strategie zum Umgang mit potentiell gefährlichen Fehlern hinzu, die Entdeckung, Warnung und Ausgleich beinhaltet, und es müssen anerkannte Standards oder andere von der zuständigen Behörde als ausreichend angesehene Mittel verwendet werden. Außerdem müssen zur Entdeckung relevanter Einzelfehler Vorflugtests durchgeführt werden. Die hohe Robustheit fordert zusätzlich prinzipiell die Einhaltung der Wahrscheinlichkeiten aus Abb. 2 und von anerkannten Standards für Software und Airborne Electronic Hardware (SW & AEH), deren Fehler zu einem „hazardous“ Ereignis oder höher führen können. Außerdem müssen Sicherheitsanalysen und DAL-Aktivitäten von einer unabhängigen Stelle geprüft werden.¹¹⁶

Für den Einsatz über bewohnter Gegend und Menschenansammlungen müssen zusätzlich zu den Vorgaben von OSO#05, die in jedem Einsatzgebiet gelten, die Anforderungen von OSO#10 und #12 berücksichtigt werden. Hier muss bereits für niedrige Robustheit gewährleistet werden, dass vertretbar angenommen werden kann, dass kein Fehler des UAS oder externer Systeme mit der Wahrscheinlichkeit „probable“ zu einer Fatalität führt. Dies muss durch Design- und Installationsauswertung sichergestellt werden und die Unabhängigkeit, Separation und Redundanz spezieller Features, die den niedrigen Integritätslevel rechtfertigen, sind erklärt. Außerdem müssen spezielle Risiken des konkreten ConOps berücksichtigt werden, damit die Unabhängigkeitsannahme nicht verletzt wird, wenn vorhanden. Für den mittleren Robustheitsgrad müssen diese Nachweise für jeden Einzelfehler erbracht werden und SW & AEH, deren Fehler direkt zu einer Fatalität führen können, sind nach anerkannten Standards zu entwickeln. Dabei müssen die Nachweise durch Analysen und/oder Tests unterstützt werden. Für den hohen Level ist eine Validierung durch eine unabhängige Stelle erforderlich. Diese beiden OSOs ergänzen die Sicherheitsanforderungen von OSO#05, zur Komplettierung der Anforderungen an die Sicherheit sind weiterhin die „Containment“-Forderungen zu berücksichtigen, siehe hierzu auch Schritt 9 von SORA in Kapitel 3.1.9.¹¹⁷

Zuletzt soll OSO#18 kurz näher betrachtet werden: Hier wird schon für die niedrige Robustheit vom UAS-Flugkontrollsystem (Flight Control System, FCS) ein automatischer Schutz der Flug-Envelope gefordert, die den Piloten daran hindert, mit einer einzelnen Eingabe unter normalen Einsatzbedingungen die UA-Envelope zu überschreiten. Für eine höhere Robustheit muss dieser automatische Schutz sicherstellen, dass das UA nach Piloten-Fehler(n) innerhalb seiner Envelope bleibt oder sich selbstständig und rechtzeitig vor einem Absturz erholen kann. Hierbei sind wiederum erst für den mittleren Level anerkannte Standards zu

¹¹⁶ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 8.

¹¹⁷ Ebenda; S. 15.

berücksichtigen bei hoher Robustheit müssen die Nachweise von einer unabhängigen Stelle validiert werden. Natürlich müssen für einen Einsatz auch die anderen OSOs entsprechend des ermittelten SAIL berücksichtigt werden, für die Sicherheit des Einsatzes sind die ausgeführten OSOs jedoch besonders hervorzuheben.¹¹⁸

3.1.9 Schritt 9: Berücksichtigung des angrenzenden Gebietes/Luftraums

Der neunte Schritt befasst sich mit dem „Containment“ für den Fall eines Kontrollverlustes, der zu einem Eindringen in einen angrenzenden Luft- oder Bodenraum führt. Im Deutschen wird hier von „Nichtverlassen des Einsatzgebietes“ gesprochen. Dabei umfasst das Einsatzgebiet nicht nur räumliche, sondern auch alle in den ConOps oder strategischen Mitigationen beschriebenen Grenzen des Einsatzes, z. B. zeitliche Beschränkungen. Die angrenzenden Räume können sich je nach Flugphase unterscheiden, sodass für jedes Flugsegment die Anforderungen für das Nichtverlassen des Einsatzgebietes nachgewiesen werden müssen. Die Sicherheitsanforderung hierfür ist, dass kein „probable“ Fehler des UAS oder eines externen Systems, das den Einsatz unterstützt, zu einem Betrieb außerhalb des Einsatzgebietes führen darf. Um die Übereinstimmung mit dieser Forderung nachzuweisen, muss eine Design- und Installationsbewertung durchgeführt werden, die mindestens Informationen über die entsprechenden Features insbesondere hinsichtlich deren Unabhängigkeit, Separation und Redundanzen enthält sowie über jedes relevante und mit den ConOps zusammenhängende spezielle Risiko wie meteorologische Einflüsse oder elektromagnetische Interferenzen. Zudem sind die drei unten aufgeführten Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, wenn der angrenzende Luftraum ARC-d besitzt – außer die Rest-ARC ist bereits ARC-d, da hier bereits ausreichende Anforderungen an die Eindämmung gestellt werden – oder ein angrenzender Luftraum über einer Menschenansammlung liegt, sofern der Einsatz über Menschenmengen nicht bereits genehmigt ist. Auch bei einem Einsatz in bewohnten Gegenden, bei dem entweder M1 für die GRC angewandt wurde oder das Einsatzgebiet über einem kontrollierten Bodengebiet liegt, sind diese Anforderungen einzuhalten:

1. Die Wahrscheinlichkeit für ein Verlassen des Gebietes soll kleiner $1 * 10^{-4}/FH$ sein,
2. Kein Einzelfehler des UAS oder eines externen Systems, das den Einsatz unterstützt, soll zu einem Verlassen des Bodenpuffers führen; nachzuweisen durch Analyse und/oder Tests mit unterstützenden Belegen und
3. SW & AEH, deren Entwicklungsfehler direkt zu einem Verlassen des Gebietes inkl. des Bodenpuffers führen können, sind nach anerkannten Standards oder anderen von der zuständigen Behörde als adäquat anerkannten Methoden zu entwickeln.¹¹⁹

¹¹⁸ Nach [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 20.

¹¹⁹ Nach [46] SORA Ed. 2.0; S. 29f.

Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einsatzsituationen ist es unmöglich, alle Eventualitäten abzudecken. Daher sollten Nutzer, Behörden und Flugsicherungsorganisationen angrenzende Lufträume und Bodengebiete je nach Einsatz genau abwägen, wobei der an das Einsatzgebiet direkt angrenzende Raum als Startpunkt zur Ermittlung des „angrenzenden Luft-/Bodengebietes“ zu verwenden ist. In speziellen Fällen wie bspw. besonders schnell fliegende UAS oder sehr enge Luft- und Bodenräume kann es notwendig sein, auch das hinter den direkt angrenzenden Raum liegende Gebiet als „angrenzendes Luft-/Bodengebiet“ zu berücksichtigen.

3.1.10 Schritt 10: Umfassendes Safety-Portfolio

Die Erfüllung aller Anforderungen für die finale GRC und Rest-ARC mit den jeweils verwendeten Mitigationen, die TMPR, das Nichtverlassen des Einsatzgebietes und den OSOs wird mit dem entsprechenden Robustheitsgrad zuletzt in einem umfassenden Sicherheitsportfolio zusammengetragen und der zuständigen Behörde vorgelegt. Wurde SORA zu deren Zufriedenheit durchgeführt, kann eine Einsatzerlaubnis erteilt werden. Da SORA nur den Sicherheitsaspekt berücksichtigt, muss der Nutzer ebenfalls nachweisen, dass er alle weiteren Anforderungen bspw. hinsichtlich Umwelt- und Datenschutz oder Security berücksichtigt und alle relevanten Stakeholder informiert. Auch wenn einige dieser zusätzlichen Aspekte durch SORA angeschnitten werden, könnte diese Betrachtung alleine als nicht ausreichend angesehen werden. Um den Erfolg von SORA und dem gesamten Einsatz zu gewährleisten, empfiehlt es sich daher bereits früh mit den zuständigen Behörden zusammenzuarbeiten, damit kurz vor dem gewünschten Betrieb die Einsatzgenehmigung nicht verweigert wird.¹²⁰

3.2 Sicherheitsanalyse der Kategorie Zertifiziert

Nachdem im vorangegangenen Kapitel der SORA-Prozess als Sicherheitsanalyse-Methodik der spezifischen Kategorie dargestellt wurde, wird in diesem Kapitel auf die Sicherheitsanalyse der zertifizierten Kategorie eingegangen um anschließend einen Vergleich beider Kategorien zu ziehen. Wie bereits erwähnt ist das Ziel der Reglementierung von UAS-Einsätzen den einheitlich hohen Sicherheitslevel der Luftfahrt zu erhalten und auf UAS auszuweiten, unabhängig von der Kategorie. Bei der offenen Kategorie ist der Einsatz als so ungefährlich anzusehen, dass dessen sichere Durchführung mit wenigen Regeln gewährleistet werden kann. In der spezifischen Kategorie sind Mitigationen notwendig, die sich hauptsächlich auf operationelle Einschränkungen stützen, je nach erreichtem SAIL ist jedoch wie bei den speziell aufgeführten OSOs eine gewisse Sicherheitsanalyse durchzuführen. Bei der zertifizierten Kategorie ist der Einsatz so risikobehaftet, dass dem traditionellen Ansatz aus der bemannten Luftfahrt inkl. genehmigtem TC zu folgen ist. Während SORA viel Wert

¹²⁰ Nach [46] SORA Ed. 2.0; S. 30.

auf die tatsächliche Einsatzart legt, wird hierbei das UAS selbst mit einem entsprechend hohen Sicherheitslevel entwickelt. Um ein UAS in der dieser Kategorie betreiben zu können, muss es von genehmigten Betrieben entwickelt, hergestellt und während der Nutzung gewartet werden und Nutzer müssen über ein ROC verfügen und entsprechende Pilotenlizenzen vorhalten. Die Sicherheit des UAS wird dabei bereits in der Entwicklung berücksichtigt.

In konventionellen bemannten Luftfahrzeugen stellt das SSA und das Kriterium des jeweiligen Paragraphen 1309 bzw. 2510 der angewendeten CS wie in Kapitel 2.2.3 ausgeführt eine generelle Lufttüchtigkeitsanforderung zur Zulassung von Luftfahrzeugen dar und fordert die Fähigkeit des Luftfahrzeuges für sicheren Flug und Landung nach einem oder mehreren Systemfehlern zu gewährleisten. In der bemannten Luftfahrt wird dabei vor allem auf den Schutz von Passagieren an Bord Wert gelegt. Da dieser Ansatz für UAS ungeeignet ist und um deren Besonderheiten zu berücksichtigen, hat JARUS einen AMC RPAS.1309 erarbeitet. Er soll mittel- bis langfristig ausgerichtet sein und eine volle Integration von UAS in den bemannten Luftverkehr ermöglichen. Dabei ist seine Anwendung nicht auf die zertifizierte Kategorie begrenzt, sondern Hersteller können ihn auch freiwillig für UAS anwenden, die in einer anderen Kategorie betrieben werden können. Dadurch könnten sie einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Konkurrenten erreichen, die auf eine ausführliche Sicherheitsanalyse nach dem Paragraphen 1309 verzichten. Es ist zu beachten, dass bei UAS zum Personentransport, aus den Medien als „Lufttaxi“ bekannt, zusätzliche Forderungen gelten können. Hier muss besonders auf eine effektive und frühzeitige Kommunikation mit der zuständigen Behörde geachtet werden, da dieser Anwendungsfall bisher kaum berücksichtigt wurde.¹²¹

Bei der Sicherheit von UAS der zertifizierten Kategorie gibt es wie auch bei SORA zwei grundsätzliche Arten von Ereignissen, die verhindert werden müssen: den Crash des UAS und der Verlust der sicheren Separation von anderen Luftverkehrsteilnehmern. Daher müssen die Systeme, die diese Ereignisse verhindern – die also für die Fortführung des sicheren Fluges und Landung und die DAA-Funktion notwendig sind – analysiert werden. Der erarbeitete AMC definiert dabei jedoch nur, was zu beachten ist und welche Wahrscheinlichkeiten eingehalten werden müssen, wie diese erreicht werden können ist zunächst frei. Als mögliche anerkannte Standards, die hierfür zurate gezogen werden können, werden [40] ED-12C/DO-178C, [41] ED-80/DO-254, [34] SAE ARP 4754A und [35] SAE ARP 4761 genannt. Letzte befindet sich derzeit in einer Überarbeitung und kann, je nachdem, wie auf UAS-Belange Rücksicht genommen wird, künftig von großem Nutzen sein. Die Komplexität dieser Standards wurde bereits im Kapitel 2.1 dargestellt, sodass der Fokus hier eher auf dem liegt, was erreicht werden muss, anstelle der konkreten Vorgehensweise.

¹²¹ Siehe [31] AMC RPAS.1309: Safety Assessment of Remotely Piloted Aircraft Systems. Issue 2, JARUS WG 6, November 2015; S. 4f.

Bevor mit dem Sicherheitsbewertungsprozess begonnen werden kann, ist die UAS-Klasse zu bestimmen. Es gelten im Wesentlichen die Kriterien der bemannten Luftfahrt, bei der eine Zuteilung durch MTOM, Art und Anzahl der Triebwerke, der Performance und Anzahl der Passagiere durchgeführt wird. Lediglich das letzte Kriterium ist für UAS ungeeignet. Dadurch kann die generelle Zuordnung zu CS-23, -25, -27, -29, -LUAS und -LURS getroffen werden. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, bezieht sich die Fehlereinstufung ursprünglich auf die Personen an Bord, weshalb eine Neudefinition nach folgendem Schema vorgenommen wurde:

- „No safety effect“: die UAS-Sicherheit wird nicht gefährdet (bspw. ohne Einfluss auf operationelle Fähigkeiten oder Arbeitslast der Crew), kein definiertes Wahrscheinlichkeitsziel;
- „Minor“: die UAS-Sicherheit wird nicht signifikant reduziert, es sind Aktionen der Crew erforderlich, die innerhalb ihrer Möglichkeiten stehen. Kann eine geringe Reduktion der Sicherheitsmarge oder funktioneller Fähigkeiten oder eine leichte Erhöhung der Arbeitslast beinhalten, wie Flugplanänderungen (bspw. Ausfall eines Systems bei Mehrfachredundanz), Wahrscheinlichkeitsziel: „Probable“;
- „Major“: die Performance des UAS oder die Möglichkeit der Crew, mit ungünstigen Bedingungen klarzukommen, werden insoweit reduziert, dass die Sicherheitsmarge, funktionelle Fähigkeiten oder Separationssicherheit signifikant reduziert werden. Zusätzlich wird die Arbeitslast signifikant erhöht oder die Crew-Effizienz beeinträchtigt (bspw. Totalverlust der ATC-Kommunikation), Wahrscheinlichkeitsziel: „Remote“
- „Hazardous“: die Performance des UAS oder die Möglichkeit der Crew, mit ungünstigen Bedingungen klarzukommen, werden insoweit reduziert, dass es zu einem der folgenden Punkte a) bis c) kommt (bspw. durch Versagen der Separation). Diese Fehler erfordern das Auslösen von Notfallprozeduren, bei denen der UAS-Verlust in Kauf genommen wird, aber keine Fatalitäten zu erwarten sind. Wahrscheinlichkeitsziel: „Extremely Remote“;
 - a) Verlust des UAS wo vertretbar angenommen werden kann, dass keine Fatalität auftritt, oder
 - b) Große Reduktion von Sicherheitsmarge oder funktionalen Fähigkeiten, oder
 - c) Hohe Arbeitslast, sodass nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Crew ihre Aufgaben akkurat oder komplett ausführt.
- „Catastrophic“: kann zu einer oder mehreren Fatalitäten führen (bspw. Kontrollverlust, der zum Absturz oder zum Verlassen des Einsatzgebietes führt, oder Fehlfunktion des DAA, das das UA aktiv gegen anderen Verkehr steuert), Wahrscheinlichkeitsziel: „Extremely Improbable“.¹²²

¹²² Siehe [31] AMC RPAS.1309; S. 13ff.

Es ist dabei zu beachten, dass das gesamte UAS betrachtet werden muss und nicht nur das UA. Auch Fehler in der GCS oder andere Ereignisse, die die Crew beeinträchtigen können, sind zu berücksichtigen, bspw. könnten eine dichte Bewölkung oder andere Wetterereignisse zu einem Kompletterverlust des C2- oder C3-Links führen oder ein Feuer in der GCS könnte einen „Catastrophic“-Fehler zur Folge haben.

Es ist anzunehmen, dass viele UAS mit [37] CS-23 für kleine Flugzeuge zugelassen werden können. Dabei ergibt sich jedoch das Problem, dass diese CS Luftfahrzeuge entsprechend ihrer Komplexität in weitere vier Unterkategorien unterteilt, deren Annahmen für UAS unzureichend sind.¹²³ Es ist daher ebenfalls eine Neudefinition der Komplexitätslevel vorzunehmen, die dann auch für die CS-LUAS, -LURS und -27 herangezogen werden soll:

- Level I: UAS mit einigen automatischen Funktionen eingeschränkter Autorität, eingeschränkten Möglichkeiten der automatischen Einsatzdurchführung; eingeschränkter Einsatz von SW & AEH,
- Level II: jedes UAS, das nicht unter Level I fällt. Kontrollsysteme haben volle Autorität auf das UAS-Flugmanagement und können den Einsatz automatisch durchführen, der Pilot kann außer bei „extremely improbable“ Fehlern wenn nötig eingreifen; umfangreicher Einsatz von Software und AEH, und
- Level III: Autonome UAS. Derzeit noch nicht durch ICAO und den AMC RPAS.1309 abgedeckt.¹²⁴

Für die konkreten Wahrscheinlichkeitszahlen werden die der jeweiligen CS zugrunde gelegt. Da bemannte CS-23-Luftfahrzeuge i. d. R. kein komplexes Fly-by-wire-System besitzen, wird für diese UAS mit Komplexitätslevel II die erlaubte Wahrscheinlichkeit reduziert. Es ergeben sich somit die für UAS anzuwendenden Wahrscheinlichkeiten und DAL nach Tabelle 11, wobei die angegebenen DAL teilweise für primäre (P) und sekundäre (S) Systeme angegeben sind. Ist keine Unterscheidung vorhanden, gilt der angegebene Level für beide Arten von Systemen. Des Weiteren gilt auch für UAS, dass kein Einzelfehler zu einem katastrophalen Fehlerfall führen darf.

¹²³ Siehe [37] CS-23: Certification Specification for Normal-Category Aeroplanes. Amendment 5, EA-SA: Köln 2017; S. A-1.

¹²⁴ Ebenda; S. 10.

Tabelle 11: Wahrscheinlichkeiten und DAL für zertifizierte UAS

		Klassifizierung von Fehlerfällen				
		No Safety Effect	Minor	Major	Hazardous	Catastrophic
		Erlaubte qualitative Wahrscheinlichkeiten				
		Keine Anforderung	Probable	Remote	Extremely Remote	Extremely Improbable
UAS-Klasse	Komplexitätslevel	Erlaubte quantitative Wahrscheinlichkeiten und DAL				
RPAS-25	N/A	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ DAL = D	$< 10^{-5}$ DAL = C	$< 10^{-7}$ DAL = B	$< 10^{-9}$ DAL = A
RPAS-29	N/A	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ DAL = D	$< 10^{-5}$ DAL = C	$< 10^{-7}$ DAL = B	$< 10^{-9}$ DAL = A
RPAS-23 Klasse I (ein Flugmotor, unter 6000 lbs)	I	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ P = D, S = D	$< 10^{-4}$ P = D, S = D	$< 10^{-5}$ P = C, S = D	$< 10^{-6}$ P = C, S = C
	II	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ DAL = D	$< 10^{-5}$ DAL = C	$< 10^{-6}$ DAL = C	$< 10^{-7}$ DAL = B
RPAS-23 Klasse II (unter 6000 lbs)	I	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ P = D, S = D	$< 10^{-5}$ P = C, S = D	$< 10^{-6}$ P = C, S = C	$< 10^{-7}$ P = B, S = C
	II	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ DAL = D	$< 10^{-5}$ DAL = C	$< 10^{-7}$ DAL = B	$< 10^{-8}$ DAL = B
RPAS-23 Klasse III (über 6000 lbs)	I	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ P = D, S = D	$< 10^{-5}$ P = C, S = D	$< 10^{-7}$ P = B, S = C	$< 10^{-8}$ P = B, S = C
	II	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ DAL = D	$< 10^{-5}$ DAL = C	$< 10^{-7}$ DAL = B	$< 10^{-9}$ DAL = A
RPAS-23 Klasse IV (Commuter)	N/A	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ P = D, S = D	$< 10^{-5}$ P = C, S = D	$< 10^{-7}$ P = B, S = C	$< 10^{-9}$ P = A, S = B
CS-LUAS oder CS-LURS	I	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ P = D, S = D	$< 10^{-4}$ P = D, S = D	$< 10^{-5}$ P = C, S = D	$< 10^{-6}$ P = C, S = C
	II	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ DAL = D	$< 10^{-5}$ DAL = C	$< 10^{-6}$ DAL = C	$< 10^{-7}$ DAL = B
RPAS-27	I	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ P = D, S = D	$< 10^{-4}$ P = D, S = D	$< 10^{-5}$ P = C, S = C	$< 10^{-6}$ P = C, S = C
	II	Keine Anforderung	$< 10^{-3}$ DAL = D	$< 10^{-5}$ DAL = C	$< 10^{-6}$ DAL = C	$< 10^{-7}$ DAL = B

Quelle: Nach [31] AMC RPAS.1309: Safety Assessment of Remotely Piloted Aircraft Systems. Issue 2, JARUS WG 6, November 2015; S. 15f.

Das zweite wesentliche Kriterium des RPAS.1309 befasst sich mit der Sicherstellung der Separation und Vermeidung von Kollisionen. Wie bereits erwähnt kann dies durch DAA-Systeme erreicht werden. Generell wird hier in zwei Fehlerarten unterschieden: Die erste befasst sich mit dem Verlust der DAA-Funktion, der für sich genommen lediglich eine signifikante Verringerung der Sicherheitsmarge bewirkt und somit als „Hazardous“ eingestuft wird. Dies wird damit begründet, dass der DAA-Ausfall allein nicht zu einer MAC führen darf, sondern sich mindestens ein anderes Luftfahrzeug auf dem Kollisionsweg befinden muss und versagt auszuweichen. Somit ist erst der DAA-Verlust in Kombination mit einem für das UAS

externen Ereignis, das zu einer MAC führt, als „Catastrophic“ einzustufen. Es wird dabei angenommen, dass eine MAC mit einem bemannten Luftfahrzeug zu dessen Absturz und somit zu Fatalitäten führt. Da man vom schlimmsten Fall einer MAC mit einem großen Luftfahrzeug ausgeht, werden daher deren Sicherheitszahlen aus CS-25 bzw. -29 herangezogen. Somit darf die Wahrscheinlichkeit des DAA-Verlusts alleine 10^{-7} betragen und es muss das funktionale DAL A erfüllt werden. Der zweite betrachtete Fehlerfall wird durch eine Fehlfunktion definiert, die aktiv zu einer MAC, bspw. mit einer Steuerung hin zu anstatt weg von anderem Luftverkehr, führt. Da auch hier der Konfliktgegner beliebig sein kann, werden für diesen als „Catastrophic“ eingestuften Fehler die Wahrscheinlichkeit von 10^{-9} und das funktionale DAL A gefordert. Auch hier darf kein Einzelfehler zu einer solchen Situation führen.¹²⁵

3.3 Vergleich zwischen spezifischer und zertifizierter Kategorie

Nachdem die Zulassung bzw. Genehmigung von UAS der spezifischen und der zertifizierten Kategorie inkl. der anzuwendenden Sicherheitsbewertung dargestellt wurde, werden hier die beiden Kategorien verglichen. Ein direkter Vergleich gestaltet sich dabei aufgrund zweier wesentlicher Unterschiede der beiden Vorgehensweisen als schwierig:

Erstens stellt SORA eine qualitative Sicherheitsbewertung dar. Es werden keine oder nur wenige konkrete Sicherheitszahlen genannt, das Risiko wird anhand der GRC, ARC und SAIL mit einer qualitativen Skala bewertet, wobei auch die angewandten Mitigationen die Risikoklasse qualitativ verringern können. Dabei ist lediglich die Gefährdung von Personen am Boden, kritischer Infrastruktur und anderen Luftverkehrs ausschlaggebend und SORA lässt sich kurz als ein Prozess zur Verhinderung von Verletzungen oder Tod Dritter zusammenfassen. Das Ziel ist es, die zuständige Behörde durch geeignete Maßnahmen zu überzeugen, dass der Einsatz verantwortungs- und sicherheitsbewusst durchgeführt wird, wobei die Behörde bei der Bewertung der Effekte einen gewissen Ermessensspielraum hat. Daher ist es bei SORA auch von herausragender Wichtigkeit, rechtzeitig und ausführlich mit der zuständigen Behörde zusammenzuarbeiten, um das entsprechende Vertrauen aufzubauen. Anders verhält es sich bei der zertifizierten Kategorie. Natürlich ist es auch hier vorteilhaft, eng mit der Behörde zusammenzuarbeiten, aber durch den quantitativen Ansatz hat diese einen deutlich geringeren Ermessensspielraum. Dabei ist jedoch die Prüfung der Sicherheit für die Behörde einfacher, da konkrete Sicherheitszahlen vorgelegt werden müssen. Durch die Anwendung der im Wesentlichen aus der bemannten Luftfahrt abgeleiteten Prozesse und Methoden ist hier auch bereits eine gewisse Erfahrung vorhanden, auf die behördenseitig zurückgegriffen werden kann. Außerdem berücksichtigt der quantitative Ansatz Fehler jeder Kategorie und definiert für diese Sicherheitszahlen, während SORA prinzipiell auf die Vermeidung von Fehlern der Kategorie „Catastrophic“ und bedingt auf „Hazardous“ eingeht.

¹²⁵ Siehe [31] AMC RPAS.1309; S. 17f.

Der zweite große Unterschied der beiden Vorgehensweisen ist, dass SORA sehr einsatzbezogen ist, wohingegen in der zertifizierten Kategorie von einem generellen Sicherheitsniveau auf Seiten aller Beteiligten (Entwickler, Hersteller, Nutzer, Wartungsbetriebe, etc.) ausgegangen wird. Dieses wird durch dieselben Vorgaben wie in der bemannten EASA-Welt erreicht. Durch die nach den entsprechenden EASA-Teilen zugelassenen Betriebe, die regelmäßig auditiert werden, kann das Sicherheitsniveau unabhängig vom Einsatz sichergestellt und aufrechterhalten werden, solange sich dieser in den genehmigten Grenzen befindet. Diese Grenzen ergeben sich aus der Zulassung des jeweiligen EASA-Teils (siehe auch Abb. 11). SORA hingegen betrachtet den konkreten Einsatz und Mitigationen, die hierfür ausreichend sind. Aus diesem Grund wird mit SORA auch keine Zulassung im klassischen Sinne erteilt, sondern vielmehr eine u. U. zeitlich begrenzte Einsatzerlaubnis, die für das beantragte ConOps mit allen dabei und mit SORA berücksichtigten Einschränkungen gilt. Wird von den ConOps abgewichen, ist ein erneutes SORA durchzuführen und eine neue Einsatzerlaubnis einzuholen. In der zertifizierten Kategorie ist das UAS im luftrechtlichen Sinne zugelassen und kann somit von zugelassenen Betrieben für verschiedene Einsätze innerhalb seiner Zulassungsgrenzen betrieben werden.

Das Ziel des gesamten Prozesses einer Regelung von UAS sollte es sein, den Sicherheitslevel der bemannten Luftfahrt auch mit neuen im Luftraum operierenden unbemannten Luftfahrzeugen aufrechtzuerhalten, unabhängig von der Kategorie des UAS. Dabei werden bei der spezifischen und der offenen Kategorie wie beschrieben qualitative Ansätze gewählt, die durchaus miteinander verglichen werden können. Will man jedoch die zertifizierte Kategorie hinzuziehen, ergibt sich das Problem, qualitative Anforderungen mit einem quantitativen Ansatz vergleichen zu wollen. Eine Quantifizierung der bei SORA verwendeten Mitigationen erweist sich durch deren Offenheit als schwierig, da zumeist nur definiert wird, was die Mitigationen erreichen sollen – das genaue Vorgehen wird meist dem Nutzer überlassen, der zur Akzeptanz der konkreten Maßnahmen mit der Behörde zusammenarbeiten muss. Eine effektive Möglichkeit des Vergleichs wäre die Untersuchung von durchgeführten Einsätzen und die Häufigkeit von auftretenden Zwischen- und Notfällen. Aufgrund der Neuartigkeit der Regelung sind hierfür jedoch bisher keine ausreichenden Daten vorhanden.

Aufgrund dieser bereits im Ansatz unterschiedlichen Vorgehensweisen und den erheblichen Interpretationsspielräumen, die sich aus den OSOs von SORA ergeben (siehe hierzu auch Kapitel 3.1.8), können der Aufwand einer Zertifizierung und die Einsatzgenehmigung mit SORA nicht eindeutig verglichen werden. Aus diesem Grund werden die beiden Kategorien anhand exemplarischer OSOs mit einem wesentlichen Einfluss auf den Genehmigungsaufwand qualitativ verglichen.

Je höher das SAIL ist, desto eher gleicht sich der Einsatz einem zertifizierten an. Auch wenn ein direkter Vergleich wenig zielführend scheint, kann eine Grenze definiert werden, ab der der Aufwand zur Erfüllung der OSOs einen Sprung hin zur zertifizierten Kategorie macht. Die Grenze wird an dieser Stelle bei SAIL IV gesehen, da hier wie bereits erwähnt gem. OSO#01 für den Nutzer ein ROC notwendig ist¹²⁶, nach OSO#04 Designstandards mit niedriger Robustheit eingehalten werden müssen¹²⁷ und OSO#05 mit mittlerer Robustheit zu erfüllen ist¹²⁸. Für höhere SAILs erhöht sich die Robustheit von OSO#04 zwar um je eine Stufe, da für den jeweiligen Robustheitsgrad jedoch ohne nähere Definition adäquate Mittel gefordert werden, besteht das Potential erheblicher Diskrepanzen zwischen dem, was die einzelnen nationalen Behörden als adäquat für die jeweiligen Stufen ansehen. Da dieser Einfluss ohne eine fundierte Erfahrungsbasis nicht abgeschätzt werden kann, wird in dieser Arbeit bereits für den niedrigen Robustheitslevel ein wesentlicher Mehraufwand angenommen. Aufgrund der Neuartigkeit von SORA kann außerdem zunächst von einer gewissen Unsicherheit aufseiten der Behörden ausgegangen werden, sodass diese zumindest anfangs eher konservativ an den Ansatz herangehen werden. Ab SAIL IV müssen auch alle anderen OSOs mindestens mit mittlerer Robustheit erfüllt werden, die jeweilige Verschärfung bei einem Wechsel auf die hohe Robustheit stellt in den meisten Fällen keinen großen Schritt dar.¹²⁹ Meist müssen bereits für mittlere Robustheit gewisse Standards berücksichtigt werden, für den hohen Level sind dann lediglich die Validierung bzw. Audits als wesentliche Änderungen zu betrachten. Natürlich muss dabei ein gewisser Aufwand betrieben werden, bspw. zur Erstellung der entsprechenden Dokumentation. Im Vergleich zu dem Schritt, der zur Notwendigkeit der Einhaltung der Standards führt, kann dieser Mehraufwand jedoch als geringer eingestuft werden. Außerdem muss in den meisten Fällen bereits um die Standards überhaupt einhalten zu können eine gewisse konsequente Dokumentation geführt werden. Bei einer gewissenhaften Anwendung der Standards sollte eine entsprechende Aufbereitung der Dokumentation keine wesentlichen Schwierigkeiten und/oder Kosten bedeuten. Die einzige größere Änderung bei SAIL V ist die nachzuweisende hohe Robustheit von OSO#05. Hier wird zusätzlich zu den für mittlere Robustheit geforderten Standards und Nachweisen die Einhaltung von Standards für SW & AEH, deren Fehler zu einem „hazardous“ Fehler oder höher führen kann, gefordert, die nicht trivial in ihrer Anwendung sind.¹³⁰ Findet der Einsatz über bewohnten Gegenden oder Menschenansammlungen statt, muss diese Forderung bei SAIL IV gem. der mittleren Robustheit von OSO#10 und OSO#12 bereits erfüllt werden, so dass für diese Fälle der Sprung auf SAIL V keinen großen Mehraufwand bedeutet.¹³¹ Daher

¹²⁶ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 4.

¹²⁷ Ebenda; S. 7.

¹²⁸ Ebenda; S. 8.

¹²⁹ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; S. 27ff.

¹³⁰ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 8.

¹³¹ Ebenda; S. 15.

muss dieser Aspekt lediglich bei Einsätzen über kontrollierten Bodenumgebungen oder schwach besiedelten Gebieten berücksichtigt werden. Außerdem werden für die hohe Robustheit von OSO#05 konkrete Sicherheitszahlen gem. dem AMC RPAS.1309 gefordert, was der zertifizierten Kategorie entspricht. Bei den niedrigeren Levels wird anstelle konkreter Sicherheitszahlen eine qualitative Betrachtung gefordert. Allerdings sind für mittlere Robustheit bereits anerkannte Standards gefordert, die von der Behörde als ausreichend angesehen werden. Da Behörden hier wiederum über einen großen Interpretationsspielraum verfügen, wird für den Übergang auf die hohe Robustheit kein wesentlicher Mehraufwand gesehen. Es ist jedoch zu beachten, dass nun die qualitative Betrachtung nicht mehr ausreicht und die Sicherheitszahlen durch entsprechende Dokumentation nachgewiesen werden müssen. Abgesehen von diesem höheren Dokumentationsaufwand und den Standards für SW & AEH werden keine größeren Änderungen gefordert. Je nach Einsatzgebiet und Auslegung von OSO#04 können diese Faktoren bereits bei SAIL IV mit einem ähnlichen Aufwand gefordert werden. Wie oben erwähnt, kann insbesondere die Unterscheidung bei OSO#04 derzeit nicht abgeschätzt werden.

Es bleibt also ab SAIL IV bei eher geringen Unterschieden zu den höheren Stufen und zur Zertifizierung. Zu beachten ist jedoch, dass außer für den UAS-Nutzer keine offizielle Anerkennung als entsprechender Entwicklungs-, Herstellungs- oder Wartungsbetrieb gefordert wird. Tatsächlich wird ersterer weder in [46] SORA Ed. 2.0 noch in [43] NPA 2017-05 (A), [44] NPA 2017-05 (B) oder [45] EASA Opinion No 01/2018 gesondert aufgeführt. Es scheint, als seien hier keine weiteren Anforderungen als diejenigen des Herstellungsbetriebs definiert, und dass das UAS nach anerkannten und adäquaten Standards entwickelt wurde. Natürlich ist für deren Einhaltung eine gewisse Organisation notwendig, es werden jedoch keine speziellen Anforderungen gestellt. Für Herstellungs- und Wartungsbetriebe werden Anforderungen gem. OSO#02 und #03 gestellt, eine offizielle Anerkennung durch EASA ist jedoch nicht gefordert. Betrachtet man die Anforderungen für hohe Robustheit, kann ein vergleichbarer Aufwand wie für eine Anerkennung inkl. wiederkehrender Audits angenommen werden. Diese werden für mittlere Robustheit zwar nicht gefordert, die meisten anderen Anforderungen bleiben jedoch bestehen, sodass der Aufwand als nicht wesentlich geringer angesehen wird. Außerdem sind Hersteller, die in SORA mit den Entwicklern zusammengefasst werden, keinesfalls verpflichtet, Details zum Design bekanntzugeben. Es wird lediglich dargestellt, dass Hersteller sich dazu entscheiden können, ihre Designkenntnis mit einem oder mehreren Nutzern oder zuständigen Behörden zu teilen („may choose to make available“¹³²). Ein weiterer Unterschied zur zertifizierten Kategorie ist, dass die Kommunikation zwischen UAS-Entwickler bzw. -Hersteller, -Nutzer und Behörde nicht sehr klar definiert ist. In der bemannten Luftfahrt – und es kann angenommen werden, dass dies auch auf die

¹³² Siehe [46] SORA Ed. 2.0; S. 15.

zertifizierte Kategorie zutrifft – kann EASA, sobald sie die Lufttüchtigkeit eines Fluggerätes gefährdet sieht, Maßnahmen einleiten, die die Luftverkehrssicherheit erhalten oder wiederherstellen sollen. Die Kommunikationswege sind dabei klar definiert. Wie dies in der spezifischen Kategorie umgesetzt werden soll ist nicht näher festgelegt.

Für einen quantitativen Vergleich der beiden Kategorien müssten eine Vielzahl von Annahmen getroffen werden, die aufgrund der Neuartigkeit der Ansätze nicht oder nur sehr schwer verifiziert werden könnten. Außerdem haben die zuständigen Behörden einen erheblichen Ermessens- und Interpretationsspielraum bei SORA, deren Einfluss nicht abgeschätzt werden kann. Aus diesem Grund und der genannten Unterschiede wird lediglich eine qualitative Bewertung der erreichten Sicherheit und des Aufwands durchgeführt. Wie gezeigt kann jedoch angenommen werden, dass die Unterschiede zur Zertifizierung ab SAIL IV sehr gering sein können – bei einer entsprechend großzügigen Auslegung durch die Behörden ist aber dennoch eine gewisse Differenz möglich. Um dies zu untersuchen müssen die teilweise noch ausstehenden nationalen Umsetzungen von SORA betrachtet werden. Deutschland hat hier bereits aufbauend auf [48] SORA Ed. 1.0 ein SORA-GER¹³³ implementiert, für das im Internet bereits sog. „SORA-Rechner“¹³⁴ verfügbar sind mit denen für deutsche Behörden ausreichende zu treffende Maßnahmen und der Aufwand der Nachweisführung vor dem ausführlichen SORA-Prozess abgeschätzt werden können. Je nach gewünschtem Einsatzgebiet sollten daher nationale Umsetzungen berücksichtigt werden, um zu untersuchen, ob der Einsatz in der spezifischen Kategorie durchgeführt werden soll oder ob für eine erhöhte Einsatzflexibilität eine Zertifizierung anzustreben ist. An dieser Stelle wird nochmals die Wichtigkeit einer frühzeitigen, effektiven und konstruktiven Kooperation und Kommunikation mit allen zuständigen und betroffenen Stellen hervorgehoben.

¹³³ Siehe [42] NfL 1-1163-17: Gemeinsame Grundsätze des Bundes und der Länder für die Erteilung von Erlaubnissen und die Zulassung von Ausnahmen zum Betrieb von unbemannten Fluggeräten gemäß § 21a und § 21b Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO). DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2017.

¹³⁴ Siehe [25] Kopter-Profi GmbH; Münden: <https://www.kopter-profi.de/ratgeber/sora-rechner> Stand: 27.04.2019.

4 Potentiale von Kompromisslösungen

Ziel dieses Kapitels ist es, Kompromisslösungen in der Kategorie Spezifisch und zwischen dieser und der zertifizierten Kategorie herauszuarbeiten und mögliche Potentiale aufzuzeigen. Der gesamte Prozess zur Einsatzgenehmigung bzw. zur Zulassung ist dabei durch Kompromisse geprägt, da durch Anwendung gewisser Maßnahmen einige Faktoren des UAS oder des Einsatzes eingeschränkt werden können oder umgekehrt. Es wird dabei insbesondere auf die daraus resultierenden Möglichkeiten von UAS-Herstellern und -Nutzern eingegangen. Es sei bereits vorab zu erwähnen, dass die Kategorisierung stark von den gewünschten Einsätzen abhängt, sodass UAS-Hersteller für einige Kompromisslösungen schon die möglichen Einsätze ihrer Systeme berücksichtigen müssen. Durch die Offenheit der durch SORA gestellten Anforderungen wird auch hier ein qualitativer Vergleich durchgeführt.

Drastisch gesehen stellt das gesamte SORA einen Kompromiss zwischen dem Einsatzrisiko und dem Aufwand zu dessen Verringerung oder Eindämmung dar. Dabei liefert es lediglich Anhaltspunkte, welche Funktionen zu diesem Zweck angewandt werden können – wie diese im konkreten Fall erfüllt werden, hängt vom Nutzer ab, der für das SORA verantwortlich ist. Da auch einige Anforderungen an das UAS als technisches System gestellt werden, ergeben sich nicht nur für Nutzer, sondern auch für Hersteller verschiedene Optionen, die angebotenen UAS im Vergleich zu konkurrierenden Systemen hervorzuheben und so die eigene Stellung am Markt zu verbessern. Es ist außerdem, je nach gewünschten Einsätzen und zu verwendenden UAS zu prüfen, ob eine Zertifizierung eine wirtschaftliche Alternative darstellt. Auch hier können die Ansätze für Hersteller und Nutzer unterschiedlich sein, da SORA auch bei im luftfahrtrechtlichen Sinne zugelassenen Systemen angewendet werden kann. Die Kompromisslösungen werden daher nach Sichtweise der Hersteller und Nutzer unterteilt.

4.1 Herstellersicht

Das generelle Ziel von Entwicklern und Herstellern unabhängig von der Branche ist eine möglichst kostengünstige Entwicklung bzw. Herstellung des Produkts und die Bedienung eines möglichst großen Marktes zu für den Verbraucher annehmbaren Preisen und einer möglichst hohen Gewinnspanne. Dies trifft selbstverständlich auch auf den UAS-Markt zu, wobei SORA keine Unterscheidung zwischen Entwickler und Hersteller definiert – im Folgenden wird vereinfachend nur von Hersteller gesprochen. Dabei stellt die Einhaltung von gesetzlichen Anforderungen einen wichtigen Kostentreiber dar. SORA bietet hier im UAS-Bereich einige Möglichkeiten, die gegeneinander abgewogen werden müssen. Prinzipiell stellt es keine harten Forderungen an Hersteller, was daran liegt, dass das Ausmaß der Anforderungen in SORA wesentlich vom Einsatz abhängt. Dabei können einige Forderungen an

das UAS und dessen Hersteller gestellt werden, je nach Einsatzart können diese jedoch vollkommen unterschiedlich ausfallen. Will ein Hersteller Geräte für eine möglichst große Zielgruppe verfügbar machen, muss er vor der Markteinführung mit SORA prüfen, welche Einsätze mit seinen UAS möglich sind und welche Anforderungen dadurch an ihn und das UAS entstehen. Gleichzeitig muss er jedoch den Preis der Systeme im Blick behalten, damit dieser für die weniger risikohaften Einsätze, die ebenfalls mit SORA möglich sind, letztendlich nicht zu hoch wird. Es sind also Kompromisse zwischen den Sicherheitsfeatures und damit möglichen Einsätzen und den Kosten für diese Systeme zu finden. Außerdem sind die Anforderungen an den Hersteller selbst zu berücksichtigen, der bei den höheren SAIL wie in der bemannten und zertifizierten Welt auditiert werden muss, und ob technische Details des UAS preisgegeben werden sollen oder nicht.

Bereits auf den ersten Schritt von SORA hat der Hersteller erheblichen Einfluss: die intrinsische GRC. Es ist bereits bei der Entwicklung zu prüfen, was mit dem System erreicht werden und welche generellen Einsätze möglich sein sollen. Dabei ist bereits eine recht ausführliche Definition der Einsatzmöglichkeiten sowie der daraus resultierenden Leistungsanforderungen an das System durchzuführen. So können zu Inspektionszwecken sowohl verhältnismäßig kleine drehflügelige UAS genutzt werden, bspw. für Windkraftanlagen, oder für große Strecken kann eine Starrflügelkonfiguration gewählt werden, bspw. zur Pipelineüberwachung. Außerdem können zu Grenzschtzwecken hohe Standzeiten und damit entsprechende Kraftstoffkapazitäten notwendig sein, was sich ebenfalls auf die Dimensionen des UAS auswirkt. Eine entsprechende Analyse der Einsatzmöglichkeiten und des zu bedienenden Marktes wird verschiedene Konfigurationen ergeben, die teilweise ähnliche oder auch gänzlich konträre Einsätze ermöglichen können. Damit die Systeme für möglichst viele Einsatzarten in Betracht kommen, sind laut SORA die charakteristische Größe und die Energie, die das System entwickeln kann, möglichst gering zu halten.¹³⁵ Je nach gewünschter Zielgruppe werden sich dabei zwangsläufig auch große UAS ergeben und eine Verringerung nur bedingt möglich sein. Anhand des Einsatzgebietes kann das Risiko aber auch für diese Systeme gering gehalten werden, sodass große Systeme nicht zwingend zertifiziert werden müssen. Auch die Energie des Systems ergibt sich aus der gewünschten Nutzlast, Reichweite, Fluggeschwindigkeit und dem Gewicht – vor allem letzteres sollte zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Einsätzen möglichst geringgehalten werden. Letztlich kommt es bei diesem Punkt also darauf an, welche Zielgruppe mit dem UAS erreicht werden soll. Die Dimensionen ergeben sich daraus abgeleitet, sodass eine Einflussnahme des Herstellers ohne Änderung der Zielgruppe nur bedingt möglich ist.

¹³⁵ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; S. 20.

Wie bereits erwähnt wird in SORA bzgl. des Herstellers lediglich dargestellt, dass dieser sich dafür entscheiden kann, Details zum UAS einem oder mehreren Nutzern und/oder Behörden zur Verfügung zu stellen, es besteht aber keine Verpflichtung. Will ein Hersteller keine Details zu seinem Unternehmen und dem UAS preisgeben, sind nur Einsätze bis SAIL II möglich. Ab SAIL III werden zum einen durch OSO#02 gewisse, wenn auch geringe, Anforderungen an den Herstellungsbetrieb gestellt und OSO#05 muss mit geringer Robustheit nachgewiesen werden. Letzteres ist nur mit einer detaillierten Designkenntnis möglich, die in der Regel nur der Hersteller besitzt. Außerdem kann in diesem Fall kein Einsatz über bewohnten Gegenden und Menschenmengen durchgeführt werden, da OSO#10 und #12 für diese Einsätze bereits ab SAIL I Anforderungen an das System stellen, wofür Designkenntnis notwendig ist. Somit dürfen mit diesen UAS gem. Tabelle 9 lediglich Einsätze mit einer finalen GRC von maximal 3 und einer Rest-ARC von maximal b durchgeführt werden. Die Einsatzmöglichkeiten sind damit sehr eingeschränkt, zumal für M2 und bedingt auch M1 für die GRC-Mitigation und für die Containment-Anforderungen gewisse Designkenntnisse hilfreich sind, auch wenn der Nutzer andere Maßnahmen für deren Erreichen treffen kann. Vorteil dieser Vorgehensweise für den Hersteller ist, dass keine Anforderungen an sein Unternehmen gestellt werden und das UAS günstig hergestellt und verkauft werden kann. Gerade für Nutzer, die sehr risikoarme Einsätze über freien Flächen und in einer Umgebung mit wenig anderem Luftverkehr durchführen wollen, kann dies einen wichtigen Kaufanreiz darstellen. Außerdem hat der Hersteller die alleinige Designkenntnis und kann so die Gefahr eines Nachbaus seiner Systeme oder deren Komponenten durch Konkurrenten minimieren.

Um mehr Einsatzmöglichkeiten zu ermöglichen und das UAS für eine größere Zielgruppe anzubieten, können Hersteller Designdetails herausgeben. Bei unkontrollierter Freigabe besteht eine erhebliche Gefahr von Konkurrenzspionage, sodass ein gewisses Zugriffsmanagement empfehlenswert ist – dies ist zwar ein Kostenfaktor, kann aber gegenüber dem potentiellen Marktverlust als gering eingestuft werden. Des Weiteren müssen für mehr Einsatzmöglichkeiten auch die Anforderungen an höhere SAILs erfüllt werden. Wesentliche vom Hersteller zu berücksichtigende OSOs sind #02, #04, #05, #10, #18, #19 und #24 sowie die TMPR bei BVLOS-Einsätzen und Containment-Forderungen. Die OSOs #03, #06, #12, #20 und #23 können von Herstellern zumindest insoweit berücksichtigt werden, als ein Nachweis für den Nutzer vereinfacht werden kann. Außerdem kann M2 der GRC-Mitigationen durch den Hersteller berücksichtigt werden. Im Folgenden werden diese Anforderungen in chronologischer Reihenfolge hinsichtlich des Kompromisspotentials dargestellt und anschließend als komplette Kompromisslösungen im Set für die anwendbaren SAILs zusammengefasst.

4.1.1 *Kompromisspotentiale der einzelnen Anforderungen*

Der erste Punkt in SORA, bei dem der Hersteller einen Kompromiss eingehen kann, ist die Mitigation M2 des Bodenrisikos, die die GRC um maximal zwei Stufen verringern kann. Wie in Kapitel 3.1.3 dargestellt, umfasst M2 Mitigationen, die die Auswirkungen eines Bodenaufschlags verringern. Da die GRC stark von den Dimensionen des UAS und dem gewünschten Einsatz abhängt, ist eine pauschale Bewertung dieser Mitigation für alle UAS nicht möglich. Es können lediglich einige Anhaltspunkte gegeben werden, die Hersteller abhängig vom konkreten System berücksichtigen können. Die mittlere Robustheit scheint hier eine kostengünstige Möglichkeit zu sein, dem Nutzer einen Weg zur Verringerung der GRC zu bieten. Bei kleinen UAS kann die Integration von vergleichsweise günstigen Fallschirmsystemen oder Airbags ohne eine Vergrößerung des Systems zwar Herausforderungen darstellen, andererseits kann bei leichten UAS mit weniger Aufwand eine ausreichende Reduzierung der Energie erreicht werden. Größere UAS können hingegen ausreichend Platz für eine effektive Integration bieten, dafür müssen die Vorrichtungen eine höhere Energieverringerng erreichen. Die mittlere Robustheit kann durch unterstützende Nachweise u. a. durch Tests, Analysen oder Simulationen gezeigt werden, sodass vor allem für kleinere Systeme von keinem herausragenden Mehraufwand für Hersteller ausgegangen werden kann. Die hohe Robustheit verlangt die Einhaltung von adäquaten Standards, je nach nationaler Interpretation können dabei deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Behörden entstehen. Da hier die Verringerung der GRC um lediglich zwei Stufen möglich ist, muss je nach Interpretation der Behörde geprüft werden, ob der Aufwand gegenüber dem Nutzen gerechtfertigt ist.¹³⁶

Die nächste Möglichkeit zur Einflussnahme des Herstellers ist im Schritt 6 nach Kapitel 3.1.6 mit den TMPR möglich. Die günstigste Alternative ist hier, keine Mittel zur Vermeidung anderen Luftverkehrs zu implementieren. Dies ist möglich, wenn nur Einsätze in VLOS oder in ARC-a-Lufträumen bedient werden sollen. Andernfalls müssen die TMPR wie in Schritt 6 dargestellt erfüllt werden, wobei sowohl Nutzer als auch Hersteller einige Punkte berücksichtigen können. Soll das UAS maximal in ARC-b-Lufträumen betrieben werden, sind dabei nicht zwangsläufig viele Maßnahmen des Herstellers erforderlich. Das meiste kann durch eine entsprechende Missionsplanung, Festlegung des Einsatzgebietes und Voraussicht des Nutzers erreicht werden. Zu seiner Unterstützung können dennoch einige Systeme vor allem für das Kriterium „Entdecken“ implementiert werden und die UAS-Performance kann das „Ausführen“-Kriterium unterstützen. Außerdem hat der Hersteller eine C2-Link-Latenz von unter fünf Sekunden zu gewährleisten, was bei derzeitigem Stand der Technik keine hohe Anforderung darstellt. Bei Einsätzen auch in ARC-c-Lufträumen werden deutlich höhere Anforderungen gestellt. Es ist zu beachten, dass hier mindestens bereits Einsätze mit SAIL IV

¹³⁶ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex B Ed. 1.0, S. 9f.

erreicht werden können. Wie in Kapitel 3.3 dargestellt, weisen die höheren SAILs nur geringe Unterschiede zur zertifizierten Kategorie auf, sodass zu prüfen ist, ob eine Erfüllung der mittleren TMPR angestrebt oder das UAS für eine möglicherweise größere Zielgruppe lieber zertifiziert werden sollte. Wird die Erfüllung der mittleren TMPR angestrebt, sollten zum Entdecken einige der aufgelisteten Systeme implementiert werden. Prinzipiell ist es für Nutzer zwar möglich, auch ohne UAS-integrierte Systeme ausreichend viel Luftverkehr zu entdecken, allerdings können Hersteller hier bei entsprechender Berücksichtigung für erhebliche Entlastungen sorgen, bzw. bedeutet keine Unterstützung durch den Hersteller umgekehrt einen erheblichen Aufwand für den Nutzer. Für das Entscheiden ist eine Analyse der MMS erforderlich und die C2-Link-Latenz darf drei Sekunden nicht überschreiten. Auch diese Latenz stellt heute keine große Herausforderung dar. Beim Ausführen sind konkret genannte Performance-Daten zu berücksichtigen. Dabei wurden augenscheinlich vorwiegend Starrflügler betrachtet, was aus der geforderten Fluggeschwindigkeit von umgerechnet fast 100 km/h abgeleitet werden kann. Je nach UAS-Art sind hier einige Anforderungen durch den Hersteller zu berücksichtigen, eine Rücksprache mit der zuständigen Behörde ist empfehlenswert. Die TMPR für die Feedback-Schleife hängen von den gewählten Mitteln des Herstellers ab und sind u. U. ebenfalls zu berücksichtigen. Bei ARC-d geht man von einem vollintegrierten Betrieb des UAS aus, weshalb auch die Anforderungen aus der bemannten Luftfahrt zu erfüllen sind. Zusammengefasst stellen die TMPR für ARC-b- und ARC-c-Lufträume keine besonders hohen Anforderungen an Hersteller. Die Möglichkeiten hier sind vorwiegend als eine Unterstützung des Nutzers zu sehen. Für ARC-d ähnelt der Aufwand hingegen sehr dem der bemannten Luftfahrt und der zertifizierten Kategorie. Da in diesen Lufträumen immer SAIL VI zu erfüllen ist, ist hier u. U. eine Zertifizierung vorzuziehen.¹³⁷

Den größten Einfluss können Hersteller auf die Erfüllung der OSOs nehmen. Im Folgenden werden die einzelnen Möglichkeiten relevanter OSOs in aufsteigender Reihenfolge erläutert: Wie bereits erwähnt müssen ab SAIL III gem. der niedrigen Robustheit von OSO#02 gewisse Anforderungen an den Hersteller selbst in Form von gewissen Herstellungsverfahren erfüllt werden. Hier haben die Behörden jedoch wieder einen recht großen Spielraum, da diese Verfahren für sie akzeptabel sein müssen ohne nähere Definition, was dies konkret bedeutet. Für die niedrige Robustheit sind die aufgeführten Forderungen noch recht übersichtlich und werden im eigenen Interesse meist auch ohne Behördeneinbeziehung erfüllt – konkret werden Materialkenntnisse, Reproduzierbarkeit und Toleranzeinhaltung gefordert. Aufgrund der Nichtdefinition der Adäquatheit der Verfahren können hier nationale Unterschiede entstehen, es wird jedoch kein großer Aufwand für Hersteller gesehen. Bei SAIL IV müssen bereits deutlich mehr Verfahren zusätzlich erfüllt werden, die für kleine Unternehmen in dem geforderten Ausmaß nicht zwangsläufig selbstverständlich sind, wie Konfigurationskontrollen,

¹³⁷ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex D Ed. 1.0, S. 7ff.

Nachverfolgbarkeit, Werkzeugkontrolle und prozessbegleitende und finale Inspektionen und Tests. Auch hier ist die Adäquatheit nicht definiert. Ab SAIL V entsprechen die Anforderungen nahezu denen der bemannten Luftfahrt und der zertifizierten Kategorie inkl. wiederkehrender Audits durch die zuständige Behörde. Da bei diesem SAIL ohnehin bereits geringe Unterschiede zur zertifizierten Kategorie bestehen – auch wenn keine offizielle Anerkennung als Entwicklungs- und Herstellungsbetrieb nach EASA Teil 21 gefordert ist –, ist bei UAS, die in diesen Einsätzen mit einem relativ hohen Risiko betrieben werden sollen, zu prüfen, ob eine Zertifizierung des Unternehmens und Zulassung des UAS nicht eine wirtschaftliche Alternative darstellen. Zu beachten ist dabei, dass der EASA Teil 21 streng zwischen Entwickler und Hersteller unterscheidet und diese klar voneinander getrennt sein müssen. Dies kann vor allem für kleine Unternehmen einen erheblich höheren Personalbedarf und einen hohen Mehraufwand bedeuten. Nutzer können hingegen auch zugelassene UAS in der spezifischen Kategorie betreiben, wenn bspw. keine Nutzerzertifizierung durch EASA angestrebt wird. Für risikoarme Einsätze werden sich zu den zertifizierten Systemen jedoch meist kostengünstigere Alternativen finden lassen.¹³⁸

OSO#03 beinhaltet Forderungen an die Wartung und Instandhaltung von UAS. Diese müssen zwar nicht zwangsläufig vom Hersteller durchgeführt werden, um einen Kaufanreiz für seine Systeme zu schaffen kann er dieses OSO allerdings durchaus berücksichtigen. Durch ausführliche Wartungsanweisungen können Hersteller Nutzern ermöglichen, auch die höheren Robustheiten ohne großen Mehraufwand erfüllen zu können. Insbesondere ab SAIL III, bei dem mittlere Robustheit erreicht werden muss, kann die OSO mit entsprechender Unterstützung durch den Hersteller einfacher erfüllt werden.¹³⁹

Ab SAIL IV muss das UAS gem. OSO#04 nach anerkannten Designstandards entwickelt werden. Wie in Kapitel 3.1.8 bereits dargestellt kann der Verzicht einer Akzeptanzdefinition zu großen Diskrepanzen zwischen einzelnen Nationen führen. Es ist jedoch auch denkbar, dass je nach Größe und Fähigkeiten des UAS unabhängig von der Risikoklasse andere Mittel als akzeptabel angesehen werden können. Da man bei SAIL IV bereits von einem relativ hohen Einsatzrisiko ausgeht, sollten die angestrebten Mittel rechtzeitig und in Kooperation mit der zuständigen Behörde abgestimmt werden. Hersteller müssen dabei jedoch beachten, dass neben den Kosten, die durch die Einhaltung der Standards entstehen, auch für die Abstimmung der Maßnahmen Gebühren von der zuständigen Behörde erhoben werden können. Wie hoch diese ausfallen und ab wann sich hier eine Zertifizierung für Hersteller lohnt, kann zum heutigen Zeitpunkt noch nicht festgestellt werden.¹⁴⁰

¹³⁸ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 5.

¹³⁹ Ebenda; S. 6.

¹⁴⁰ Ebenda; S. 7.

Eine weitere Anforderung an das UAS und seine Komponenten stellt OSO#05 dar. Es fordert die Berücksichtigung von Systemsicherheit und -zuverlässigkeit und muss bei SAIL III mit niedriger Robustheit erfüllt werden. Hier muss eine FHA und eine Design- und Installationsbewertung für „probable“ Fehler des UAS durchgeführt werden, jedoch noch ohne spezifische Standards. Diese und andere Forderungen kommen bei mittlerer Robustheit dieser OSO bei SAIL IV hinzu und stellen einen weiteren Kostensprung dar. Obwohl die mittlere Robustheit noch keine konkreten Sicherheitszahlen nach AMC RPAS.1309 fordert, kann durch die Einhaltung von adäquaten Standards ein ähnlicher Aufwand angenommen werden, weshalb der Mehraufwand beim Übergang zur hohen Robustheit ab SAIL V als geringer eingestuft wird. Da hier die Einhaltung des AMC RPAS.1309 gefordert ist, sind zur zertifizierten Kategorie lediglich marginale Unterschiede erkennbar.¹⁴¹

OSO#06 beinhaltet Forderungen an den C3-Link, die teilweise vom Nutzer und teilweise vom Hersteller berücksichtigt werden müssen. Letzterer hat vor allem Einfluss auf die C2-Link-Performance, die Kommunikation als drittes „C“ wird vorwiegend durch den Nutzer sichergestellt. Typischerweise werden Performance und Frequenzbänder im UAS-Manual dokumentiert, sodass zumindest für niedrige Robustheit bei SAIL II und III keine besonderen Anforderungen durch den Hersteller zu erfüllen sind. Ab SAIL IV muss die OSO mit mittlerer Robustheit erfüllt werden, hier gelten zwar generell keine neuen Anforderungen, allerdings muss die Demonstration des C3-Links mit von der Behörde akzeptablen Mitteln durchgeführt werden. Da hier wieder nicht definiert ist, was als adäquat angesehen werden kann, könnten Hersteller zumindest zur Unterstützung der Nutzer hinzugezogen werden. Für hohe Robustheit ab SAIL V müssen lizenzierte Frequenzbänder genutzt werden, für die u. U. Lizenzgebühren anfallen können. Ob und wie diese auf Hersteller und Nutzer aufgeteilt werden können, bedarf einer weitergehenden Untersuchung. Es ist jedoch anzunehmen, dass außer eventuellen Lizenzgebühren für diese OSO keine besonderen Kosten für Hersteller anfallen werden.¹⁴²

Sollen Einsätze über bewohnten Gegenden und/oder Menschenmengen mit dem UAS durchgeführt werden, müssen auch die OSOs#10 und #12 berücksichtigt werden. Ersteres befasst sich mit technischen Mitteln direkt am UAS, während OSO#12 externe Systeme betrachtet, die den Einsatz unterstützen. Diese können teilweise vollständig in der Verantwortung des Herstellers liegen, wie spezielle Start- und Landevorrichtungen, die nicht bereits Teil des UAS sind, oder insoweit vom Hersteller zu berücksichtigen sein, dass die Schnittstelle ausreichend für den Einsatz ist, wie bei Nutzung von Satellitennavigation. Bis SAIL II ist für diese OSOs eine geringe Robustheit zu erfüllen, die eine Identifikation von Fehlern der

¹⁴¹ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 8.

¹⁴² Ebenda; S. 9f.

Kategorie „probable“ und Design- und Installationsbewertungen beinhaltet. Dass vertretbar angenommen werden kann, dass keine Fatalität aus den identifizierten Fehlern entsteht, liegt dann in der Verantwortung des Nutzers. Die mittlere Robustheit bei SAIL III und IV ist mit einem etwas größeren Aufwand verbunden. Hier müssen alle Einzelfehler identifiziert werden, die bei einem solchen Einsatz zu einer oder mehreren Fatalitäten führen können. Außerdem ist für SW & AEH, deren Fehler zu einem katastrophalen Ereignis führen können, die Einhaltung von Standards gefordert und die Nachweise müssen Analysen und/oder Tests beinhalten. Die hohe Robustheit ab SAIL V fordert die Validierung der Nachweise durch eine unabhängige Stelle, weshalb hier kein besonders hoher Mehraufwand abgesehen von einer entsprechenden Dokumentation gesehen wird. Da bei diesem Risikolevel auch OSO#05 bereits mit hoher Robustheit nachgewiesen werden muss, wird hier der zusätzliche Aufwand als vernachlässigbar eingestuft. Es ist jedoch zu beachten, dass für diese beiden OSOs schon ab SAIL III recht hohe Anforderungen gelten, während OSO#05 erst bei SAIL IV vergleichbare stellt. Dies liegt darin begründet, dass bei einem Einsatz über bewohnten Gegenständen oder Menschenmengen generell ein höheres Risiko eines katastrophalen Ereignisses besteht, als bei einem Einsatz über nicht oder schwachbesiedelten Gebieten, auch wenn das SAIL gleich hoch ist. Da nur Fehler zu berücksichtigen sind, die zu einer Fatalität führen können, wird bei mittlerer Robustheit noch ein deutlicher Unterschied zur zertifizierten Kategorie gesehen. Die hohe Robustheit wird teilweise bereits durch die von OSO#05 abgedeckt, bei der nur marginale Unterschiede zur zertifizierten Kategorie bestehen.¹⁴³

Ab SAIL III muss das UAS gem. OSO#18 einen automatischen Schutz der Flugenveloppe besitzen, wenn diese aufgrund eines einzelnen menschlichen Fehlers bei normalen Einsatzbedingungen verletzt oder ein rechtzeitiges Erholen verhindert werden würde. Das FCS muss dabei keine besonderen Anforderungen erfüllen und kann auch aus marktverfügbaren Produkten bestehen. Mittlere und hohe Robustheit werden bei SAIL IV und ab V verlangt, wobei die hohe zusätzlich lediglich die Validierung durch eine unabhängige Stelle fordert. Bei beiden Levels darf der Pilot durch das FCS auch bei mehreren Fehlern nicht in der Lage sein, die Flugenveloppe zu verletzen oder ein rechtzeitiges Erholen zu verhindern. Dieser Schutz muss unter Einhaltung adäquater Standards entwickelt werden, sodass der Unterschied zur zertifizierten Kategorie auch hier ab SAIL IV als gering eingestuft wird. Es ist bei dieser OSO darauf zu achten, dass sie lediglich die Grenzen des UAS berücksichtigt und es nicht um die Einhaltung der Einsatzgrenzen geht – dies wird mit den Containment-Forderungen nach Schritt 9 von SORA berücksichtigt, siehe auch weiter unten.¹⁴⁴

¹⁴³ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 15.

¹⁴⁴ Ebenda; S. 20.

Um einen Kontrollverlust aufgrund menschlicher Fehler zu verhindern, der nicht durch ein Überschreiten der Flugenvelope zustande kommt, bspw. fehlerhafte Befestigung einer Nutzlast, ist OSO#19 ab SAIL III mit niedriger Robustheit zu erfüllen. Diese OSO ist mittels entsprechender Verfahren und Trainings durch den Nutzer zu berücksichtigen, es werden jedoch auch Forderungen an das Design gestellt, die der Hersteller in Betracht zu ziehen hat. So muss bei SAIL III ein System zum Entdecken und/oder Ausgleichen menschlicher Fehler implementiert und ab SAIL IV nach adäquaten Standards entwickelt sein. Ein Beispiel für ein solches System wäre eine Warnmeldung oder Startverhinderung bei unzureichendem Funkkontakt, weil der Nutzer die Funkantenne nicht ausgefahren hat. Diese Anforderungen an das FCS sind auch im Zusammenhang zu OSO#18 zu betrachten, sodass u. U. beide OSOs mit einem System abgedeckt werden können. Obwohl die Einhaltung von OSO#19 erst ab SAIL VI validiert sein muss, wird aufgrund der Verzahnung mit OSO#18 bereits ab SAIL IV kein wesentlicher Unterschied zur zertifizierten Kategorie mehr gesehen.¹⁴⁵

OSO#20 fordert, dass die MMS adäquat für den Einsatz ist. Dies ist durch Demonstration vom Nutzer allein nachweisbar, kann bei entsprechender Berücksichtigung von Bedienerfreundlichkeit und Ergonomie durch den Hersteller jedoch unterstützt werden. Die Kosten für die Unterstützung dieser OSO durch den Hersteller werden für alle SAILs als gering eingeschätzt, im Sinne der Nutzerzufriedenheit sollten die entsprechenden Aspekte bereits bei der Entwicklung ausreichend berücksichtigt werden.¹⁴⁶

Die Definition der zulässigen Einsatzbedingungen nach OSO#23 sollte ebenfalls keine großen Auswirkungen haben, da sie im eigenen Interesse meist bereits durchgeführt wird. Selbst wenn diese von dem Unternehmen bisher nicht oder unzureichend beschrieben wurden, ist der Aufwand zur Erfüllung dieser Anforderung für alle SAIL als gering einzustufen.¹⁴⁷

Die letzte wesentlich durch den Hersteller zu berücksichtigende OSO#24 befasst sich mit dem Ausgleich ungünstiger Umgebungsbedingungen. Ein Beispiel hierfür könnte ein automatisches Erfassen und Ausgleichen von Windeinflüssen darstellen. Ab SAIL III müssen diese Einflüsse berücksichtigt sein, während ab SAIL IV adäquate Umweltstandards zugrunde gelegt werden müssen. Diese müssen für die Behörde ausreichen und können – vor allem bei Betrachtung der Antriebseinheiten – durchaus ein gewisses Potential an Mehraufwand und -kosten aufweisen. In der bemannten Luftfahrt gibt es ähnliche Anforderungen, die wohl auch für die zertifizierte Kategorie gelten werden. Es wird daher auch für diese OSO ab SAIL IV ein sehr geringer Unterschied zur zertifizierten Kategorie gesehen.¹⁴⁸

¹⁴⁵ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 21f.

¹⁴⁶ Ebenda; S. 23.

¹⁴⁷ Ebenda; S. 24.

¹⁴⁸ Ebenda; S. 25.

Die letzte Möglichkeit für Kompromisse bzgl. des UAS selbst hat der Hersteller bei den Containment-Anforderungen in Schritt 9 von SORA. Um den Umfang entsprechender technischer Systeme zu untersuchen, hat EASA eine „Geo-Limitation Task Force“ ins Leben gerufen, die im September 2016 ihren Report veröffentlicht hat. Ziel dieser Task Force war vorrangig, den Aufwand von Geo-Limitation im Sinne von „No-flight-zones“ für die offene Kategorie zu untersuchen.¹⁴⁹ Für die Containment-Anforderungen sind dabei ähnliche Systeme anwendbar, allerdings ist das Einsatzgebiet vorher zu definieren und das Gebiet, das nicht berührt werden soll, durch den Nutzer selbst als „quasi-no-flight-zone“ zu deklarieren. In der Studie sahen mit knapp über 30 % die meisten befragten Hersteller den Einfluss der Implementierung solcher Systeme auf die Kosten als mittel an, lediglich 5 % gaben einen hohen erwarteten Einfluss an.¹⁵⁰ Es ist bei dieser Studie darauf zu achten, dass der Schwerpunkt auf UAS der offenen Kategorie lag, die klein und leicht sein sollen, weshalb eine Übertragbarkeit auf die spezifische Kategorie nur bedingt möglich ist. Eine etwas bessere Betrachtung kann mit dem in [44] NPA 2017-05 (B) dargestellten Ergebnis einer anderen EASA-Studie gemacht werden, welche eine ähnliche Fragestellung beinhaltet, allerdings ohne sich auf die offene Kategorie zu konzentrieren. Hier sahen alle Hersteller die Kosten einer Implementierung von Geo-Limitation-Funktionen bei unter 10 % der gesamten Produktionskosten.¹⁵¹ Es ist bei diesen Daten jedoch zu erwähnen, dass lediglich fünf Hersteller befragt wurden, weshalb keine Repräsentativität vorausgesetzt werden kann. Fasst man die beiden Studien zusammen und berücksichtigt die für die Containment-Forderung zu treffenden Anpassungen, kann der Aufwand für eine Implementierung als gering bis mittel eingestuft werden.

4.1.2 Zusammenfassung in Form kompletter Kompromisslösungen

Es ergeben sich aus den Ausführungen von Kapitel 4.1.1 verschiedene Möglichkeiten von kompletten Kompromiss-Sets auf Seiten der Hersteller. Dabei ist je nach gewünschtem System hinsichtlich Größe und Komplexität zunächst immer zu prüfen, welche Einsätze damit möglich sein sollen. Je nach Ergebnis dieser Analyse können verschiedene Kompromisse möglich sein:

Die erste und günstigste Variante ist die, keine Rücksicht auf Forderungen nach SORA zu nehmen. Es sind keine besonderen Systeme zu integrieren und demnach auch keine Nachweise durch den Hersteller zu erbringen. Des Weiteren sind lediglich ohnehin gesetzlich vorgeschriebenen Daten preiszugeben und das Unternehmen muss nicht durch unabhängige Stellen oder Behörden geprüft werden, sodass die Konkurrenzspionagegefahr minimiert

¹⁴⁹ Siehe [5] EASA/NAA Task Force: Study and Recommendations regarding Unmanned Aircraft System Geo-Limitations. Köln, 2016; S. 3.

¹⁵⁰ Ebenda; S. 120.

¹⁵¹ Siehe [44] NPA 2017-05 (B); S. 87.

werden kann. Im Sinn der Benutzerfreundlichkeit und Ergonomie kann ab SAIL II die Unterstützung des Nutzers berücksichtigt werden, wie oben dargestellt, wird der Aufwand für den Hersteller aber für alle SAIL als gering eingestuft. Diese Vorgehensweise ermöglicht lediglich eine Durchführung von Einsätzen mit einem SAIL von maximal II mit diesen UAS, wobei aufgrund der OSOs#10 und #12 keine bewohnten Gebiete oder Menschenmengen überflogen werden dürfen. Besonders für kleine UAS, die bereits eine geringe intrinsische GRC ermöglichen, kann diese Variante eine wirtschaftliche Alternative darstellen.

Da Einsätze über Menschenansammlungen lediglich bei kleinen UAS durch SORA unterstützt werden (siehe Tabelle 5), können OSO#10 und #12 von Herstellern mit dem zweiten Kompromissansatz berücksichtigt werden. Für SAIL I und II muss der Hersteller gewisse Daten des UAS preisgeben, eine Einhaltung von Anforderungen an das Unternehmen selbst ist noch nicht nötig. Besonders hohe Anforderungen an das UAS werden hier noch nicht gestellt – tatsächlich ist hauptsächlich eine Designanalyse durchzuführen; technische Anforderungen werden nicht gefordert –, allerdings muss der Hersteller Designdetails bekannt geben. Um die Gefahr eines Nachbaus durch Konkurrenten zu verringern, ist ein Zugriffsmanagement empfehlenswert, das zu einem höheren Personalbedarf führen kann. Der Aufwand des Herstellers, diese Einsätze zu ermöglichen, wird als gering eingestuft.

Sollen Einsätze bis SAIL III mit dem UAS durchgeführt werden können, ist ein größerer Aufwand als bei den beiden geringeren Levels zu erwarten. Hier müssen nach OSO#02 bereits einige von der Behörde als ausreichend angesehene Verfahren eingehalten werden. Bei SAIL III stellen diese keinen erheblichen Aufwand dar und werden häufig bereits im eigenen Interesse eingehalten, wobei die Adäquatheit der Verfahren nicht definiert ist und es somit zu Diskrepanzen zwischen verschiedenen Behörden kommen kann. Bei dieser Möglichkeit muss der Hersteller also zusätzlich zu Designdetails und einer FHA, die für das Erfüllen von OSO#05 notwendig sind, auch Informationen zu seinem Unternehmen vorweisen. Außerdem werden einige zu berücksichtigende Anforderungen an das System selbst gestellt: Es sind nach OSO#18 ein automatischer Schutz der Flugenveloppe, nach OSO#19 ein Schutz vor Kontrollverlust nach menschlichen Fehlern und nach OSO#24 eine Berücksichtigung von ungünstigen Umgebungsbedingungen beim Design notwendig. Eine Einhaltung von Standards wird noch nicht gefordert. Für die OSOs#18 und #19 können die Kosten für ein entsprechendes FCS wie bei den Containment-Forderungen dargestellt als gering bis mittel eingestuft werden. Des Weiteren kann der Hersteller Maßnahmen zur Unterstützung von OSO#03 treffen, bspw. durch entsprechende Wartungsempfehlungen. Der Aufwand und damit die Kosten für den Hersteller werden für SAIL III aus den genannten Gründen als gering bis mittel angesehen, zumindest solange keine Einsätze über bewohnten Gegenden oder Menschenmengen ermöglicht werden sollen. Sollen OSO#10 und #12 erfüllt werden,

um diese Einsätze zu ermöglichen, müssen zusätzlich eine Einzelfehleranalyse durchgeführt und SW & AEH, deren Fehler zu einem katastrophalen Ereignis führen können – was bei Einsätzen über bewohnten Gegenden oder Menschenmengen mit einem Absturz erreicht werden könnte –, nach anerkannten Standards entwickelt werden. Diese Standards können besonders für kleine Unternehmen erhebliche Herausforderungen darstellen: Erfahrungen aus dem Bereich der Musterprüfung beim LufABw aus diversen Projekten und die langjährige Erfahrung von Kollegen zeigt, dass selbst große Luftfahrtkonzerne teilweise Probleme haben, diese Standards einzuhalten. Bei nach [40] DO-178C zugelassener DAL A-Software kann der Zertifizierungsprozess Monate oder Jahre dauern und Kosten in Größenordnungen von 100 \$ pro Codezeile verursachen.¹⁵² Je nach Größe und Komplexität des Systems und ob Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen eines Absturzes ergriffen wurden, kann der zusätzliche Aufwand hierfür insgesamt stark variieren. Der Gesamtaufwand um den SAIL III für alle Arten von Einsätzen zu ermöglichen wird daher bei mittel bis hoch gesehen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Kosten für die Systeme nicht zu hoch ausfallen sollten, da sich potentielle Kunden, die keine Einsätze über bewohnten Gegenden oder Menschenansammlungen durchführen wollen, ansonsten günstigeren Alternativen suchen werden.

Ab SAIL IV kommt man in einen Bereich, in dem ausführlich zu prüfen ist, ob eine Zertifizierung nicht wirtschaftlicher ist, als diese Einsätze mit SORA zu ermöglichen. Dabei ist zunächst festzustellen, dass Einsätze in ARC-c mindestens diesen SAIL einhalten müssen und eine Unterstützung des Nutzers durch herstellerseitige Berücksichtigung der TMPR daher empfehlenswert ist. Für den Herstellungsbetrieb gelten hier nach OSO#02 bereits deutlich höhere Anforderungen, auch wenn noch keine wiederkehrende Auditierung notwendig ist, und das UAS muss gem. OSO#04 nach adäquaten Designstandards entwickelt sein. Vor allem letzterer Punkt kann den Aufwand für dieses SAIL je nach Behördeninterpretation erheblich erhöhen. Weiterhin müssen ähnliche Anforderungen wie durch den AMC RPAS.1309 erfüllt werden, auch wenn die konkreten Sicherheitszahlen noch nicht gefordert sind. Das FCS muss gem. OSO#18 und #19 ebenfalls mit deutlich höherem Aufwand entwickelt werden und nach OSO#24 sind Umweltstandards zu berücksichtigen, die ebenfalls zu einem gewissen Mehraufwand und Kosten führen können. Der wesentliche Unterschied zwischen diesem SAIL und der zertifizierten Kategorie ist, dass noch keine Anerkennungen mit regelmäßiger Auditierung getrennt in Entwicklungs- und Herstellungsbetrieb notwendig sind. Dennoch wird der Aufwand als hoch eingestuft und es ist zu prüfen, ob eine Zertifizierung des Betriebs und eine Zulassung des UAS nicht wirtschaftlicher ist. Vor allem vor dem Hintergrund, dass mit zugelassenen UAS alle Einsätze in SORA möglich sind – auch wenn es für

¹⁵² Nach [11] Access Intelligence, Bellamy III, W.; Rockville:
<http://interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/february-2017-march-2017/do-178c-software-for-nextgen-avionics-uavs-and-more/> Stand: 28.04.2019.

risikoarme Einsätze sicher günstigere Alternativen geben wird – und zusätzlich die zertifizierte Kategorie bedient wird, kann diese Überlegung attraktiv sein. Obwohl heute nur wenige Einsätze in der zertifizierten Kategorie durchgeführt werden, bietet die fortschreitende Technologie in diesem Bereich sehr großes Potential und führt somit zu einer wachsenden Zielgruppe.

Als letzte Kompromissmöglichkeit sollen Potentiale von Standardszenarien genannt werden. Diese sollen in naher Zukunft entwickelt und produktneutral formuliert werden. Sobald ein gewisses Fundament von Einsätzen gelegt wurde, kann ein Hersteller von seiner zuständigen Behörde prüfen lassen, ob sein UAS für ein bestimmtes Standardszenario geeignet ist. Wird dies positiv beschieden, können Kunden, die sich auf dieses Szenario konzentriert haben, gezielt beworben werden, indem das UAS bereits mit einer fertigen Einsatzlösung angeboten wird. Das dadurch vereinfachte SORA kann für diese Kunden einen wichtigen Kaufanreiz bieten. Da das UAS nicht ausschließlich für dieses Standardszenario nutzbar ist, sondern mit einem entsprechenden SORA auch anderweitig eingesetzt werden kann, stellt diese Vorgehensweise gewissermaßen ein Bonus dar, zusätzlich zu der ohnehin verfügbaren Marktstellung. Typische Beispiele für solche Szenarien für verhältnismäßig große, starrflügelige UAS könnten landwirtschaftliche Aufgaben darstellen, Drehflügler könnten für Inspektionsaufgaben standardisiert werden.

4.2 Betreibersicht

Haben diverse Hersteller ihre Systeme auf den Markt gebracht, können durch Kompromisse bzgl. des Einsatzes verschiedene Maßnahmen durch den Betreiber getroffen werden. Diese ziehen sich durch den gesamten SORA-Prozess und bieten verschiedene Potentiale zur Reduktion der Betriebskosten. Als Kompromiss für die reduzierten Kosten sind jedoch die Einsatzmöglichkeiten und die Flexibilität eingeschränkt. Es ist daher auch hier genau zu prüfen, welche Arten von Einsätzen ein Betreiber durchführen möchte. Ähnlich wie in Kapitel 4.1 werden die einzelnen Schritte von SORA auf ihre Kompromisspotentiale untersucht, wobei Schritt 1 dabei nicht näher betrachtet wird, da die ConOps-Beschreibung als iterativer Prozess teilweise von den in den anderen Schritten angewandten Maßnahmen abhängt. Anpassungen hinsichtlich des Boden- oder Luftgebietes des Einsatzes werden bei den Schritten 2 und 4 berücksichtigt. Um den Einsatz mit möglichst niedrigem Aufwand bewerkstelligen zu können, ist das SAIL so gering wie möglich zu halten. Dies wird erreicht, indem die GRC und die ARC so weit wie für den Einsatz möglich reduziert werden. Aufgrund der Vielzahl vorwiegend operationeller Anpassungsmöglichkeiten hat der Nutzer hier einen wesentlich größeren Einfluss als der Hersteller. Generell gilt auch für Betreiber: Je geringer die Flexibilität des Einsatzes ist, desto geringer sind der Aufwand und die Kosten.

4.2.1 *Kompromisspotentiale der einzelnen Anforderungen*

Für die intrinsische GRC sind gem. Kapitel 3.1.2 das UAS selbst und das überflogene Einsatzgebiet zu berücksichtigen. In beiden Fällen können durch den Nutzer Kompromisse gewählt werden: Bzgl. des UAS bieten größere Systeme potentiell mehr Einsatzmöglichkeiten, wodurch jedoch die GRC steigt und diese UAS auch meist teurer, als andere mit eingeschränkten Möglichkeiten sind. Werden nur bestimmte Einsatzarten vom Nutzer gewünscht, sollte genau analysiert werden, welches UAS die wirtschaftlichste Alternative bietet. Dabei kann auch auf gewisse Wünsche verzichtet und eine geringe Leistung in Kauf genommen werden, als Beispiel kann hier eine reduzierte Standzeit genannt werden, sodass ein Einsatz u. U. statt mit einem mit zwei oder mehr Flügen durchgeführt werden muss. Gerade bei der Auswahl des UAS spielen viele Faktoren eine Rolle, sodass eine entsprechend ausführliche Analyse sehr komplex ausfallen kann. Da die richtige Auswahl einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten des Einsatzes ausüben kann, sollte dieser Analyse besondere Beachtung geschenkt werden.

Die zweite Möglichkeit der GRC-Anpassung stellen die überflogenen Gebiete dar. Aufgrund des gewünschten Einsatzes ergeben sich dabei natürlich einige Rahmenbedingungen, je nach Art können jedoch Kompromisse getroffen werden. Als Beispiel dient die Inspektion einer Bahntrasse in ländlichen Gegenden, wobei der Einsatz BVLOS durchgeführt werden soll: In den meisten Streckenabschnitten findet der Einsatz über schwach besiedeltem Gebiet statt, lediglich im Bereich der Bahnhöfe müssen bewohnte Gegenden überflogen werden. Ist nun die Inspektion dieser Bereiche durch andere Mittel möglich, kann das UAS den Ortschaften auf seinem Weg ausweichen und diese umfliegen. Diese Vorgehensweise ermöglicht je nach System eine Verringerung der intrinsischen GRC um bis zu vier Stufen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass durch die Umwege eine höhere Standzeit des UAS notwendig sein kann und die Inspektion der nicht überflogenen Strecken anderweitig sichergestellt werden muss. Die Berücksichtigung des Bodenrisikos (und Luftrisikos, s. u.) im Einsatzgebiet bei der Planung kann also einen großen Einfluss auf SORA ausüben. Außerdem ist je nach Einsatzgebiet zu prüfen, ob Geo Limitation Funktionen implementiert sind, wodurch die Funktion des Nichtverlassens des Einsatzgebietes vereinfacht werden kann (s. u.). Je nach dem konkreten Fall können gewisse Kompromisse eingegangen werden, durch die Vielzahl möglicher Anpassungen ist eine generelle Aussage jedoch nicht möglich.

In Schritt 3 von SORA kann die GRC reduziert werden. M1 hängt dabei wiederum stark vom jeweiligen Einsatz ab, da der Puffer auch vom jeweiligen Einsatzgebiet definiert wird. Kann dieses nicht verschoben werden – bspw. bei Inspektionen von Industrieanlagen –, ergibt sich der Puffer zwangsläufig aus der vorhandenen Umgebung. Ist es aufgrund der lokalen Gegebenheiten möglich, einen entsprechenden Puffer einzurichten, ist selbst die Erfüllung des mittleren Robustheitslevels mit einem nur geringen Aufwand verbunden, da auch das zweite

Kriterium – die Evaluation potentiell gefährdeter Personen – keine große Hürde darstellt, sofern die Einsatzzeit anpassbar ist. Die hohe Robustheit benötigt eine Validierung des Puffers durch eine unabhängige Stelle und für die Personendichtedaten müssen Nah-Echtzeit-Informationen anstelle statistischer Mittel verwendet werden. Auch dieser Level stellt keinen besonders hohen Mehraufwand dar, es sind jedoch u. U. Gebühren für die Validierung und Lizenzkosten für die dynamischen Dichtedaten zu berücksichtigen. Für den gefesselten Einsatz kann ebenfalls für mittlere Robustheit ein geringer Aufwand angenommen werden, wobei zu beachten ist, dass Verfahren gegen akzeptable Standards validiert sein oder von der Behörde als ausreichend angesehen werden müssen. Da der gefesselte Einsatz eine sehr einfache, aber effektive Lösung darstellt, sollten die Behörden hier keine übermäßigen Hürden stellen. Bei der hohen Robustheit können wieder Gebühren für die Validierung anfallen und es sind Flugtests unter Berücksichtigung der gesamten Flugenveloppe durchzuführen. Letztere können u. U. mit Flugtests zum Nachweis verschiedener OSOs kombiniert werden, sodass sich der Mehraufwand in Grenzen hält (siehe unten).

Die zweite Mitigationsmöglichkeit kann teilweise bereits durch den Hersteller berücksichtigt werden, indem er Maßnahmen zur Reduktion der Aufschlagsdynamik implementiert. Ist dies nicht der Fall, kann der Nutzer je nach konkretem UAS eigene Systeme anbringen, hier kommt es jedoch sehr auf das genaue Design des UAS und der gewünschten Zusatzausstattung an. In jedem Fall müssen durch den Nutzer bestimmte Verfahren für diese Notfallmaßnahmen definiert und die UAS-Crew entsprechend geschult sein. Wie schon bei M1 müssen die Verfahren ab mittlerer Robustheit Standards entsprechen oder akzeptiert werden, wobei von den Behörden keine zu hohen Anforderungen zu erwarten sind. Für das Training sind theoretische und praktische Teile gefordert, insgesamt wird der Mehraufwand aber als eher gering geschätzt. Bei hoher Robustheit muss das Training von einer unabhängigen Stelle validiert sein, hierfür haben sich bereits einige Trainingseinrichtungen entwickelt, die sich konkret auf UAS-Training spezialisiert haben. In [44] NPA 2017-05 (B) ist die Kostenspanne dieser Trainings in Frankreich mit 900 € bis 6 000 € angegeben.¹⁵³ Es ist anzunehmen, dass in den wirtschaftlich schwächeren Ländern der EU die Grenzen nach unten verschoben sein werden. Zu beachten ist bei diesen Zahlen, dass keine Unterscheidung zwischen Trainings für die offene und die spezifische Kategorie getroffen wurde, daher werden die Kosten für die spezifische Kategorie vermutlich im oberen Bereich dieser Preisspanne liegen. Soll das Training für M2 (und M3, siehe unten) genutzt werden können, ist darauf zu achten, dass die getroffenen Maßnahmen im Training enthalten sind – optimal wäre hier ein individuelles Training mit den eigenen UAS. Bei einer entsprechend guten Trainingseinrichtung kann das Training außerdem für die Erfüllung einiger OSOs genutzt werden, siehe dazu weiter unten.

¹⁵³ Nach [44] NPA 2017-05 (B); S. 122.

M3 beinhaltet einen ausreichenden Notfallplan. Bereits für die mittlere Robustheit, die noch keine Verringerung der GRC ermöglicht, sind Standards einzuhalten und der Notfallplan muss im Training berücksichtigt werden. Wird das Training wie bereits erwähnt an einer entsprechenden Trainingseinrichtung durchgeführt, kann auch die hohe Robustheit einfach nachgewiesen werden, die Verfahren hierfür sind jedoch deutlich strenger reglementiert, u. a. muss der Notfallplan mit allen im Plan identifizierten Dritten koordiniert und von ihnen akzeptiert werden. Dadurch kann diese Mitigation also durchaus das Potential von Mehrkosten beinhalten.

Für die initiale ARC in Schritt 4 ist ähnlich wie bei der Bestimmung der intrinsischen GRC zu prüfen, ob bestimmte Gebiete mit einem höheren Risikolevel gemieden werden können. Anders als bei der GRC bringt eine Änderung des UAS hier keine Vorteile, die ARC hängt gem. Abb. 19 einzig und allein von den durchflogenen Lufträumen und -gebieten ab. Es ist zu beachten, dass für die Containment-Anforderungen auch die angrenzenden Lufträume zu betrachten sind. Zur Vermeidung spezieller Lufträume oder, wenn keine entsprechenden technischen Mittel vorhanden sind, angrenzender Lufträume kann ein Umweg in Kauf genommen werden. Da eine etwaige Anpassung der durchflogenen bzw. angrenzenden Lufträume jedoch wesentlich vom jeweiligen Einsatz abhängt, kann keine allgemeine Aussage zu möglichen Kompromissen getroffen werden.

Bei Schritt 5 ist zunächst zu prüfen, ob die initiale ARC auf ARC-a reduziert werden kann. Dies ist prinzipiell für alle ARC möglich, zumindest für kontrollierte Lufträume jedoch vermutlich sehr teuer. Um die Kosten des Einsatzes im Rahmen zu halten, wird sich diese Möglichkeit voraussichtlich lediglich bei besonderen oder ohnehin sehr teuren Einsätzen lohnen. Als Beispiel kann die Überführung des „Eurohawk“ der deutschen Bundeswehr von der amerikanischen Westküste nach Manching bei Ingolstadt aufgeführt werden: Für den Flug wurde ein künstlicher Korridor geschaffen, der durch ATC frei von anderem Luftverkehr gehalten werden musste, inkl. aller Ausweichrouten zu Notlandeplätzen im Falle eines Fehlers des UAS. Dies ist natürlich ein Extrembeispiel und für militärischen Flugbetrieb gelten teilweise andere Anforderungen, in den kontrollierten Lufträumen wird jedoch auch für zivile UAS ein ähnliches Vorgehen für ARC-a notwendig sein. Je nach Größe des zu nutzenden Luftraums und genereller Luftverkehrsdichte in diesem Gebiet können die Kosten hierfür schnell extrem hoch werden. Für andere Lufträume könnte ARC-a einfacher möglich sein, ein entsprechender Annex G zu SORA wird derzeit von JARUS erarbeitet. Die Kosten hierfür lassen sich daher noch nicht abschätzen. Soll außer durch ARC-a eine Reduktion der ARC stattfinden, können operationelle Einschränkungen oder Einhaltung gängiger Strukturen und Regeln nachgewiesen werden.

Für die erste Möglichkeit können Einschränkungen bzgl. der geographischen Einsatzgrenzen, der -zeit und der Expositionszeit getroffen werden, wobei erstere bereits in Schritt 4 berücksichtigt wurden. Die Einsatzzeit korreliert mit M1 für die GRC und die beiden Mitigationen sollten daher zusammenhängend betrachtet werden. Auch das Potential dieses Kompromisses hängt stark vom Einsatz ab und ob dessen Zeit variiert werden kann. Ist dies möglich, ist ein Nachweis einer geringeren ARC durch eine voraussichtlich geringere Luftverkehrsdichte verhältnismäßig einfach. Will der Betreiber eine geringe Expositionszeit nachweisen, sind je nach Einsatzgebiet und -zeit Absprachen mit der zuständigen Behörde und dem ATM zu treffen. Je nach Verkehrsdichte kann diese Mitigation sehr einfach oder aber unmöglich sein. Ein besonderer Aufwand neben den Absprachen ist nicht nötig.

Gängige Strukturen und Regeln liegen nicht in der Hand des Nutzers, es kommt hier sehr auf den noch zu implementierenden U-Space an, der diese definieren kann. Sind sie vorhanden, müssen sich Nutzer daran halten und können dann der Behörde vorschlagen, die ARC, die ohne Betrachtung des U-Space bestimmt wurde, zu verringern. Hier können zur Einhaltung der U-Space-Regeln bestimmte Systeme notwendig sein und somit Kosten entstehen, je nach Umsetzung des U-Space können sie jedoch sehr unterschiedlich ausfallen. Eine Abschätzung kann zum heutigen Zeitpunkt nicht durchgeführt werden.

Sollen BVLOS-Einsätze durchgeführt werden, ist je nach Rest-ARC zu prüfen, ob die in Schritt 6 anzuwendenden TMPR erfüllt werden können oder nicht. Werden die Maßnahmen für deren Erfüllung zu teuer, kann es wirtschaftlicher sein, den Einsatz nochmals nach Schritt 5 anzupassen und eine Reduktion der ARC anzustreben. Der zur Erfüllung der TMPR nötige Aufwand hängt dabei auch wesentlich von den bereits durch den Hersteller implementierten Systemen ab (siehe oben), eine Installation weiterer technischer Systeme kann je nach UAS bedingt möglich sein. Durch eine entsprechende Missionsplanung, Festlegung des Einsatzgebietes und Voraussicht des Nutzers können dabei für ARC-b-Lufträume bereits die meisten Anforderungen erreicht werden. Das Kriterium „Entdecken“ ist dadurch mit nur geringem Kostenaufwand erreichbar, für den Fall einer Begegnung mit anderem Luftverkehr ist vorab für das „Entscheiden“ eine Konfliktvermeidungsstrategie auszuarbeiten. Die geforderte Latenzzeit der „Kommandieren“-Anforderung hängt von den verwendeten Mitteln ab, ist mit fünf Sekunden jedoch keine besonders hohe Anforderung. Bzgl. der „Ausführen“-Anforderung können entsprechend agile UAS verwendet werden, durch eine Berücksichtigung der sicheren Höhe im Einsatzgebiet hat der Nutzer hier aber auch bei trägen UAS die Möglichkeit der Einflussnahme. Will der Nutzer keine UAS mit hoher Performance nutzen, kann er die Einsatzhöhe so weit beschränken, dass die sichere Höhe in der gegebenen Zeit und mit dem entsprechenden UAS erreicht wird. Dadurch können die Anschaffungskosten verringert werden, die Einsatzgrenzen werden jedoch wiederum eingeschränkt. Die Feedback-Schleife hängt abermals von den verwendeten Systemen ab.

Ist die Rest-ARC mit ARC-c eingestuft, sind die Anforderungen wesentlich höher. Wie oben dargestellt sind diese Einsätze bereits mindestens SAIL IV, sodass zu prüfen ist, ob ein zertifizierter Einsatz nicht wirtschaftlicher ist. Soll der ARC-c-Einsatz durchgeführt werden, sind voraussichtlich einige der angegebenen Systeme zum Erreichen der Entdeckungsrate von 90 % zu implementiert. Eine entsprechende Unterstützung durch den Hersteller kann diese Anforderung deutlich vereinfachen. Die Effektivität der getroffenen Maßnahmen muss durch den Nutzer nachgewiesen werden. Für das Entscheiden ist die MSS zu analysieren und es muss in einer Bewertung nachgewiesen werden, dass der Pilot innerhalb von fünf Sekunden in der Lage ist, die Situation zu erkennen, zu bewerten und sich entsprechend zu entscheiden. Außerdem müssen die Fehlerraten oder Verfügbarkeiten jedes verwendeten Systems oder Services bewertet werden. Die Anforderungen für „Entdecken“ und vor allem für „Entscheiden“ stellen einen wesentlichen Mehraufwand für den Nutzer dar, während die Kriterien für „Kommandieren“, „Ausführen“ und „Feedback-Schleife“ dem gegenüber auch für ARC-c keine besonders hohen Anforderungen bedeuten. Erwähnenswert sind hier die geforderten Standardprozeduren für „Ausführen“.

Wie in Kapitel 4.1.1 dargestellt sind die Anforderungen für ARC-d ähnlich hoch wie in der bemannten Luftfahrt, da der Betrieb vollintegriert stattfindet, sodass spätestens hier genau zu prüfen ist, ob der Einsatz nicht zertifiziert durchgeführt werden soll oder weitere operationelle Einschränkungen zur Reduktion der ARC getroffen werden können. Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass der Mehraufwand für BVLOS in ARC-b gering eingeschätzt wird, für ARC-c jedoch bereits als mittel bis hoch und ARC-d der zertifizierten Kategorie entspricht. Da bei ARC-d der Einsatz ohnehin SAIL VI besitzt, ist eine Zertifizierung möglicherweise eine wirtschaftliche Alternative. Bei ARC-c sollte zumindest geprüft werden, ob die VLOS-Forderung nicht doch erfüllt und somit auf die TMPR verzichtet werden kann. Je nach GRC können SAIL IV-Einsätze dann wirtschaftlich umgesetzt werden, wobei der Unterschied zur zertifizierten Kategorie hierbei bereits relativ klein ist.

Die nächsten Kompromisse können bei der Erfüllung der OSOs getroffen werden. Dabei ist der Ansatz jedoch ein anderer als für den Hersteller, der sein Produkt mit möglichst geringen Kosten einem möglichst breiten Markt zugänglich machen möchte. Dafür müssen Kompromisse eingegangen werden, bis zu welchem SAIL das eigene System die OSOs erfüllen können soll. Je höhere SAILs mit dem UAS prinzipiell möglich sind, desto größer kann die potentielle Zielgruppe sein. Gleichzeitig muss jedoch versucht werden, die Kosten im Rahmen zu halten, damit Kunden, die nur risikoarme Einsätze durchführen wollen, nicht verloren gehen. Für den Nutzer werden in den SAILs die bisher getroffenen Kompromisse zusammengefasst und mit den OSOs entsprechende Anforderungen an den Einsatz gestellt, um das restliche Risiko zu minimieren und einen sicheren Flugbetrieb zu gewährleisten. Der

Nutzer muss dabei schon von Beginn an abwägen, ob er einen gewissen Aufwand betreiben möchte, um den SAIL zu verringern, oder ob es wirtschaftlicher ist, die höheren OSOs zu erfüllen. Will ein Nutzer verschiedene Einsätze mit verhältnismäßig hohem Risiko durchführen, kann auch eine Zertifizierung eine mögliche Alternative darstellen. Um dies zu untersuchen, werden die OSOs, die einen wesentlichen Einfluss auf die Einsatzkosten ausüben können, im Folgenden hinsichtlich ihres Mehraufwandes untersucht. Für den Betreiber sind dabei OSO#01, #16 und #17 zu beachten und die Wartung entsprechend OSO#03 sicherzustellen. Verfahren und Training sind für die OSOs #07, #19, #23 zu beachten, spezielle operationelle Verfahren gem. #08, #11, #14, #21 und spezielles Training nach #09, #15, #22. Außerdem sind externe Systeme, die den Einsatz unterstützen nach OSO#12 und #13 zu berücksichtigen.

Von herausragender Bedeutung für den Betreiber ist OSO#01. Für niedrige Robustheit werden noch keine besonderen Anforderungen gestellt, schon bei mittlerer ab SAIL III muss der Nutzer jedoch vor dem ersten Einsatz auditiert werden und an das Unternehmen selbst und an definierte Verfahren werden Anforderungen gestellt. Der zusätzliche Aufwand wird als mittel eingestuft. Ein weiterer Sprung findet bei hoher Robustheit statt ab SAIL IV: Hier ist wie in der zertifizierten Kategorie ein ROC notwendig und es werden wiederkehrende Audits durchgeführt. Je nach Strenge der zuständigen Behörde kann die Erfüllung dieser OSO sehr zeit- und kostenaufwendig sein.¹⁵⁴

Die Multi Crew Coordination nach OSO#16 liegt ebenfalls in der Verantwortung des Nutzers, dabei müssen entsprechende Verfahren, Trainings und Kommunikationsmittel beachtet werden. Für niedrige Robustheit müssen noch keine Standards eingehalten werden, was ab SAIL III bei mittlerer Robustheit der Fall ist. Das Training muss zudem ein Crew Resource Management Training enthalten. Ab SAIL V ist die hohe Robustheit einzuhalten, bei der Validierungen notwendig sind und die Kommunikationsmittel redundant sein müssen. Der geschätzte Aufwand entspricht jeweils dem Robustheitslevel, wobei sich die Kosten für das Training auch auf die anderen OSOs umschlagen lassen.¹⁵⁵

Für OSO#17 sind bis zum mittleren Robustheitslevel keine besonderen Anforderungen gegeben, die ein Unternehmen nicht bereits im eigenen Interesse erfüllen sollte, weshalb hier kein Zusatzaufwand gesehen wird. Für den hohen Level ab SAIL V sind ähnlich wie bei normalen Piloten medizinische Tests durchzuführen und es muss ein Risikomanagementsystem gegen Ermüdung implementiert sein. Der Zusatzaufwand wird als mittel eingestuft.¹⁵⁶

¹⁵⁴ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 4.

¹⁵⁵ Ebenda; S. 17f.

¹⁵⁶ Ebenda; S. 19.

Die Wartung des UAS gem. OSO#03 kann durch den Hersteller, den Betreiber oder eine dritte Einrichtung durchgeführt werden. Dabei müssen Herstellervorgaben soweit vorhanden eingehalten und je nach Robustheit Wartungsprogramme, -dokumentationen und -manuals vorgehalten werden. Hervorzuheben ist, dass ab mittlerer Robustheit freigabeberechtigtes Personal vorgehalten werden muss, wodurch die Wartungskosten ab SAIL III erhöht sind. Wie hoch diese ausfallen, hängt jedoch auch stark von der Wartungseinrichtung ab, sodass keine gesicherte Aussage des Einflusses getroffen werden kann.¹⁵⁷

Operationelle Verfahren sind zum Ausgleich technischer und menschlicher Fehler, ungünstiger Einsatzbedingungen und einer Verschlechterung externer den Einsatz unterstützender Systeme in den OSOs #08, #11, #14 und #21 gefordert. Dabei müssen die Prozeduren definiert sein und ab der mittleren Robustheit bei SAIL II menschliche Fehler in Betracht ziehen. Es werden außerdem Anforderungen an die Komplexität der Verfahren gestellt, wobei die mittlere Robustheit ein manuelles Eingreifen bei normalerweise automatisch gesteuerten UAS beinhaltet. Dieser Punkt ist jedoch umstritten, da ein manueller Eingriff gerade in abnormalen Situationen schnell zu einer Verschlechterung führen kann. Ab mittlerer Robustheit sind die Verfahren darüber hinaus gegen Standards zu validieren, sodass der Gesamtaufwand dieser OSOs bei diesem Level als mittel eingestuft wird. Für hohe Robustheit ab SAIL III müssen die Verfahren einfach sein und ein Training für Crew Resource Management, das bei SAIL III jedoch auch schon für OSO#16 gefordert wird, ist erforderlich. Da die einfachen Verfahren nicht näher definiert sind, jedoch validiert sein müssen, ergibt sich ein gewisses Potential von Diskrepanzen. Der generelle Zusatzaufwand gegenüber der mittleren Robustheit wird jedoch als eher gering eingestuft.¹⁵⁸

Spezielles Training für abnormale und Notfallsituationen sowie für kritische Umweltbedingungen werden in den OSOs #09, #15 und #22 definiert. Dieses muss adäquat für den Einsatz sein, eine nähere Definition dazu wird noch von JARUS erarbeitet. Training an anerkannten Trainingseinrichtungen sollte jedoch auch den hohen Robustheitslevel abdecken, eine Kostenabschätzung hierfür wurde bereits bei der Betrachtung der M2 dargestellt. Die Trainingskosten müssen dabei im Verhältnis der gesamten Einsatzkosten betrachtet werden, weshalb für risikoarme Einsätze eigene Trainings aufgebaut werden können, die für die mittlere Robustheit – bis SAIL IV bei OSO#09 und #15, bis SAIL V bei OSO#22 – ausreichen.¹⁵⁹

Für die OSOs #07, #19 und #23 für UAS-Inspektion, Erholen von menschlichen Fehlern und Umweltbedingungen sind entsprechende Verfahren zu berücksichtigen und Trainings müssen die jeweiligen Punkte enthalten. Auch hier sind die Verfahren ab mittlerer und Trainings

¹⁵⁷ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 6.

¹⁵⁸ Ebenda; S. 12f.

¹⁵⁹ Ebenda; S. 14.

ab hoher Robustheit gegen Standards zu validieren. Ab SAIL III müssen OSO#07 und #23 mit mittlerer Robustheit erfüllt werden und OSO#19 mit niedriger, was einen geringen bis mittleren Einfluss auf die Einsatzkosten hat. Bei SAIL IV muss zusätzlich OSO#19 mit mittlerer Robustheit erfüllt werden, was jedoch aufgrund der anderen OSOs, die für dieses SAIL bereits relativ hohe Anforderungen stellen, keinen bedeutenden Mehraufwand beinhaltet. Die hohe Robustheit muss für alle drei OSOs ab SAIL V erfüllt werden, hier fallen dann wesentlich die Trainingskosten ins Gewicht. Entsprechende Trainingseinrichtungen werden voraussichtlich bestimmte Trainingsstufen anbieten, sodass auch hier, aufgrund der anderen höheren OSOs, keine wesentlichen Mehrkosten entstehen. Es ist aber zu beachten, dass bei SAIL V der Unterschied zur zertifizierten Kategorie sehr gering ist, weshalb ohnehin zu prüfen ist, ob eine Zertifizierung nicht wirtschaftlicher ist.¹⁶⁰

Zuletzt werden die OSOs #12 und #13 für die externen Systeme betrachtet. OSO#12 ist dabei stark von der jeweiligen Kombination des UAS und der verwendeten externen Systeme abhängig. Die Einflussnahme des Betreibers ist hier begrenzt, aufgrund der externen Services, die der UAS-Hersteller nicht kennt, liegt die OSO trotzdem in der Verantwortung des Nutzers. Er muss sich jedoch auf die zur Verfügung gestellten Informationen verlassen und kann lediglich abschätzen, ob weitere Hilfssysteme notwendig sind oder nicht. Konkreten Einfluss auf die externen Systeme hat er in der Regel nicht. Hierfür regelt OSO#13 die Anforderungen an die Zusammenarbeit von Serviceanbieter und Nutzer. Dabei stellt schon der mittlere Robustheitsgrad ab SAIL III hohe Anforderungen, da der Nutzer Nachweise benötigt, dass jeder externe Service für den gesamten Flug ausreichend ist, sodass vertragliche Vereinbarungen zwischen dem Anbieter und Nutzer notwendig werden. Die Kosten hierfür können derzeit nicht abgeschätzt werden, da sie sehr vom jeweiligen Einsatz und den externen Services abhängen, die in Anspruch genommen werden sollen. Für den Übergang zur hohen Robustheit ab SAIL IV kann jedoch mit einem geringeren Mehraufwand gerechnet werden, da die Validierung durch eine unabhängige Stelle dank der vertraglichen Grundlage zwischen dem Serviceanbieter und dem Nutzer relativ einfach erreicht werden kann.¹⁶¹

Der letzte Schritt von SORA – das Nichtverlassen des Einsatzgebietes – bietet dem Nutzer keine neuen Kompromissmöglichkeiten, sondern lediglich zwei bereits erwähnte. Die erste stellt die Auswahl des UAS unter der Berücksichtigung von implementierten Geo Limitation Funktionen dar und sollte bereits zu Beginn von SORA geprüft werden. Es wird hier auf die Untersuchung dieser Funktionen für Hersteller in Kapitel 4.1.1 verwiesen. Die zweite ist die Berücksichtigung des Luftraumes, in dem der Einsatz stattfindet und des daran angrenzenden. Dies sollte in Schritte 4 berücksichtigt werden.

¹⁶⁰ Siehe [46] SORA Ed. 2.0; Annex E Ed. 1.0, S. 11, 21f und 24.

¹⁶¹ Ebenda; S. 15f.

4.2.2 Zusammenfassung in Form kompletter Kompromisslösungen

Bei der Auswahl der Kompromisse muss der Betreiber die Kosten der Mitigationen gegenüber denen zur Erfüllung des höheren SAIL abwägen. Dabei hängt der jeweilige Aufwand stark vom konkreten Einsatz ab, sodass anders als beim Hersteller keine generelle Abschätzung kompletter Lösungen getroffen werden kann. Daher wird an dieser Stelle lediglich auf die wesentlichen Punkte, die bei der Auswahl der Maßnahmen zu beachten sind, eingegangen und ein Vergleich zu zertifizierten Einsätzen aus Betreibersicht dargestellt.

Vor Anwendung von SORA sollte geprüft werden, ob eine Anpassung der verwendeten UAS oder des Einsatzprofils möglicherweise eine Erleichterung der zu erfüllenden Forderungen ermöglicht. Dabei kann es je nach Einsatz auch wirtschaftlicher sein, teurere Systeme zu verwenden oder längere Routen in Kauf zu nehmen, sodass durch ein geringeres SAIL niedrigere Anforderungen zu erfüllen sind. Nach Festlegung des UAS und der konkreten Routenplanung sollte zunächst eine grobe Kostenschätzung ohne Anwendung von Mitigationen nach SORA durchgeführt und als Grenze für den Genehmigungsprozess festgesetzt werden. Bei der konkreten Anwendung von SORA sollte dieser Wert als Vergleich genutzt werden um die Wirtschaftlichkeit der Mitigationen zu bewerten. Dabei sollte der Prozess nicht als statisch, sondern durchaus als dynamisch gesehen werden, da Mitigationen auf verschiedene Weisen Auswirkungen auf die Einsatzkosten haben können – so kann bspw. ein Fallschirm zwar die GRC verringern, durch das zusätzliche Gewicht jedoch die Standzeit reduzieren. Sollen verschiedene Einsätze mit diesem UAS durchgeführt werden, erhöht der Fallschirm jedoch die Flexibilität. Daher ist auch die generelle Ausrichtung des Betreiberunternehmens zu berücksichtigen: Wenn nur im Wesentlichen gleiche Einsatz durchgeführt werden sollen, da bspw. die Kompetenz des Unternehmens in einem anderen Bereich liegt und der UAS-Einsatz lediglich zur Vereinfachung genutzt wird, ist die Flexibilität von untergeordneter Bedeutung. Ein Beispiel wäre ein Windkraftwerksbetreiber, der Inspektionen eigenständig durch ein UAS ausführen möchte. Auf der anderen Seite kann ein Betreiber gezielt UAS-Einsätze für verschiedene Zwecke anbieten – im Folgenden UAS-Serviceanbieter genannt – und dann von anderen Unternehmen wie bspw. von einem Energieunternehmen beauftragt werden. Für UAS-Serviceanbieter ist die Flexibilität der Einsätze von herausragender Bedeutung, da so eine möglichst große Zielgruppe erreicht werden kann. Zwar ist in diesem Fall auch eine Zertifizierung für maximale Flexibilität möglich, allerdings ist es vor allem für verhältnismäßig kleine UAS unwahrscheinlich, dass Hersteller ein entsprechendes TC beantragen, das für den Betrieb in der zertifizierten Kategorie nötig ist. Soll das SORA also angewandt werden, sind eine Vielzahl von Parametern zu beachten, die teilweise voneinander abhängen. Das SAIL ohne Anwendung von Mitigationen mit seinen OSO-Levels kann dabei als Referenz für die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen genutzt werden. Es ist zu beachten, dass für einen Einsatz, der von dem durchgeführten SORA abweicht, ein erneutes SORA durchzuführen ist.

Dabei können Nachweise vor allem bzgl. der eigenen Organisation und Qualifikation, aber auch zum verwendeten UAS, wenn es das gleiche ist, berücksichtigt werden, sodass Unternehmen, die viele verschiedene Einsätze durchführen wollen, für weitere SORAs keinen so hohen Aufwand betreiben müssen wie für das initial durchgeführte.

Bei den Kompromissen zu berücksichtigen sind außerdem zwei in [43] NPA 2017-05 (A) aufgeführte und in Kapitel 2.2.2 erläuterte Möglichkeiten: Einhaltung von Standardszenarien und Beantragung eines LUC.

Die erste Möglichkeit ist vor allem für Unternehmen interessant, die einen im Wesentlichen gleichen Einsatz mehrfach durchführen wollen, im Beispiel der Energieanbieter mit UAS zur Inspektion seiner Windkraftanlagen. Wie oben dargestellt wird dafür ein initiales Set an mutmaßlich häufig durchgeführten Einsatzarten erarbeitet. Möchte ein Betreiber einen im Wesentlichen gleichen Einsatz voraussichtlich häufig durchführen, kann er dafür die Aufnahme in die Liste der Standardszenarien selbst beantragen. Auch UAS-Serviceanbieter können davon profitieren, indem sie gezielt mit den von ihnen erfüllbaren Standardszenarien werben. Die Definition dieser Szenarien kann auch Klarheit darüber schaffen, welche Standards als akzeptabel angesehen werden können, sodass die Kosten zur Einhaltung der OSOs auch für höhere SAIL besser abgeschätzt werden können. In dieser Arbeit wurde dabei eher konservativ geschätzt, da noch keine gesicherten Daten vorliegen. Mit den entsprechenden Szenarien und nach einer Erfassung relevanter Daten verschiedener Nutzer über einen gewissen Zeitraum kann für die hier getroffenen Annahmen eine Neubewertung notwendig werden.

Ein LUC ermöglicht einem Nutzer Einsätze in der spezifischen Kategorie selbst zu genehmigen. Dabei sind wie in Kapitel 2.2.2 dargestellt verschiedene Privilegien möglich, abhängig von den gewünschten Einsätzen. Es werden verschiedene Anforderungen an das Betreiberunternehmen gestellt, für deren Einhaltung eine entsprechende Organisation und u. U. ein erhöhter Personalbedarf erforderlich ist, der teilweise durch den Wegfall von Autorisierungsaufgaben kompensiert werden kann. Vor allem für Unternehmen, die viele verschiedene Einsätze durchführen wollen, kann diese Vorgehensweise eine deutliche Erleichterung bedeuten, da nicht für jeden Einsatz eine neue Genehmigung eingeholt werden muss. Nach Expertenschätzungen liegen die Kosten für die Genehmigung eines Einsatzes bei Einhaltung eines Standardszenarios bei durchschnittlich 200 €¹⁶² und eines LUC-Antrags bei etwa 2 500 € jährlich¹⁶³. Damit wäre ein LUC ab 13 Einsätzen pro Jahr potentiell wirtschaftlicher. Es ist jedoch zu beachten, dass dabei lediglich die Kosten bei Einhaltung von Standardszenarien berücksichtigt sind und es liegen keine Informationen vor, inwieweit interne Kosten zur Einhaltung der Genehmigungs- bzw. der LUC-Anforderungen berücksichtigt wurden. Es ist außerdem anzuzweifeln, dass risikoreiche Einsätze aufgrund der starken Individualität in

¹⁶² Nach [44] NPA 2017-05 (B); S. 108.

¹⁶³ Ebenda; S. 111.

Standardszenarien abgedeckt werden können. Auch hier hängen die Auswirkungen dieser Möglichkeit also stark von den durchzuführenden Einsätzen und der Ausrichtung des Unternehmens ab, die getroffene Betrachtung kann aber einen Eindruck vom Potential dieser Privilegien zumindest für risikoarme Standardszenarien bieten.

Als wohl teuersten Kompromiss kann der Betrieb in der zertifizierten Kategorie genannt werden. Dabei sind wie in Kapitel 2.2.3 dargestellt generell die EASA-Teile wie auch in der bemannten Luftfahrt zu erfüllen, nicht nur hinsichtlich des UAS selbst mit Teil 21 und CofA mit genehmigtem TC, sondern auch die Teile zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit, zur Crew und die Betreiberanforderungen. Dafür können unter Einhaltung dieser Vorschriften und der generellen Luftfahrtregeln prinzipiell alle Einsätze durchgeführt werden. Besonders für risikoreiche Einsätze ab SAIL IV sollte, wie oben bereits dargelegt, geprüft werden, ob der Einsatz in der spezifischen Kategorie noch wirtschaftlich oder eine Zertifizierung anzustreben ist. Besonders, wenn die Unternehmenspriorität nicht auf UAS-Einsätzen basiert, sondern diese nur als Bonus oder im eigenen Interesse durchgeführt werden – wie im Beispiel des Energiekonzerns –, ist eine Zertifizierung mit hoher Wahrscheinlichkeit keine ernstzunehmende Alternative. Lediglich bei dauerhaftem oder zumindest häufigem Drohnenbetrieb wird diese Möglichkeit wirtschaftliche Vorteile bieten können. Will ein Unternehmen, das keine Zertifizierung anstrebt, risikoreiche Einsätze durchführen, sind entweder die entsprechenden OSOs für den hohen SAIL zu erfüllen oder es kann ein UAS-Serviceanbieter, der u. U. eine Zertifizierung besitzt, mit der Durchführung des Einsatzes beauftragt werden. Wie bereits mehrfach dargestellt, sind die Unterschiede zwischen der spezifischen und zertifizierten Kategorie ab SAIL IV gering und der Aufwand zu deren Erfüllung hoch. Werden regelmäßig solche Einsätze durchgeführt, kann eine Zertifizierung durchaus eine wirtschaftliche Alternative darstellen.

Der Vollständigkeit halber wird als letzte Möglichkeit der Verzicht auf den UAS-Einsatz genannt. Dabei können je nach Einsatzart verschiedene Alternativen in Betracht gezogen werden, wie ein bemannter Flugeinsatz oder der Einsatz von Industriekletterern zu Inspektionsaufgaben, oder es kann komplett darauf verzichtet werden, wenn bspw. bei Dreharbeiten auf Luftaufnahmen verzichtet wird. Da der Grundgedanke dieser Arbeit jedoch von einem UAS-Einsatz ausgeht, wird auf diese Lösung, die außerdem sehr stark vom konkreten Einsatz abhängt, nicht weiter eingegangen. Sie sollte aber bei der Einsatzplanung im Hinterkopf behalten und als valide Lösung angesehen werden.

5 Kriterien zur Bewertung und Durchführung von Kompromisslösungen

Zur Bewertung verschiedener Lösungsmöglichkeiten von Problemen haben sich im System Engineering diverse Verfahren etabliert, um die unter Berücksichtigung möglichst aller Gesichtspunkte potentiell wirtschaftlichste Alternative zu identifizieren. Für einfache Entscheidungen kann eine Argumentenbilanz ausreichen, die Vor- und Nachteile verschiedener Lösungen rein qualitativ gegenüberstellt.¹⁶⁴ Meist sind jedoch zunächst Kriterien zu erfassen, anhand derer die Lösungen miteinander verglichen werden können, wobei je nach Unternehmensphilosophie auch Faktoren wie Umweltschutz oder andere nur indirekt mit der Wirtschaftlichkeit verbundene Aspekte berücksichtigt werden können. Häufig werden verschiedene Verfahren angewandt, die sich teilweise ergänzen und den Entscheidungsprozess unterstützen können. Gängige Verfahren dabei sind:

- Paarvergleich: direkter Vergleich zweier Lösungen durch Bewertung der Kriterien mit besser, schlechter oder gleich gut in Bezug auf das jeweils andere,
- Werteprofil: grafische Darstellung hinsichtlich des Erfüllungsgrads der jeweiligen Kriterien; bei Berücksichtigung der Fläche kann auch eine Gewichtung eingeführt werden und ein Paarvergleich kann mit dieser Methode gut veranschaulicht werden,
- Kosten-Wirksamkeits-Analyse: Methode zur Bestimmung einer abstrakten Kennzahl, die die Kosten für einen abstrakten Wirtschaftlichkeitspunkt darstellt; kann auch grafisch mit einem sog. Stärkendiagramm dargestellt werden,
- Wirtschaftlichkeitsrechnung: reiner Vergleich basierend auf einer definierten Wirtschaftlichkeit, und
- Eine Punktbewertung, bspw. nach Stiftung Warentest, der Richtlinie 2225 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI 2225) oder der Nutzwertanalyse.¹⁶⁵

Da die Punktbewertung ein einflussreiches Werkzeug darstellt und bei der Lösungsfindung häufig eine wichtige Rolle spielt, wird darauf kurz näher eingegangen: Hier werden die Kriterien anhand ihres Einflusses und der Wichtigkeit für das Unternehmen mit Gewichtungsfaktoren versehen, die in der Summe 100 % ergeben sollten. Die Lösungen werden anhand der einzelnen Kriterien mit einer qualitativen Skala bewertet und die Summe der Einzelbewertungen ergibt das Bewertungsergebnis für dieses Kriterium. Es stellt gewissermaßen den Grad der Zielerreichung der einzelnen Lösungen dar. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass unterschiedlichste Kriterien mit verschiedenen oder ganz ohne Einheiten

¹⁶⁴ Siehe [9] Züst, R.: Einstieg ins Systems Engineering. 3. Überarbeitete Auflage, Chur: ibW Höhere Fachschule Südostschweiz 2015; S. 139ff.

¹⁶⁵ Siehe [6] Haberfellner, R.; u. a.: Systems Engineering. 13. Aktualisierte Auflage, Zürich: Orell Füssli Verlag AG 2015; S. 267ff.

berücksichtigt werden können. Bei quantifizierbaren Kriterien sollten den allgemeinen qualitativen Skalenwerten gewisse Wertebereich zugeordnet und so eine spezielle Werteskala erarbeitet werden. Qualitative Kriterien sollten soweit möglich auf die einzelnen Wertpunkte aufgeteilt werden, bspw. könnte man das Aussehen zwischen „Blickfänger“ bis „reine Nutzform“ unterteilen. Gängige allgemeine Werteskalen sind in Tabelle 12 dargestellt.¹⁶⁶

Tabelle 12: Gängige Werteskalen

Stiftung Warentest		VDI-Richtlinie 2225		Nutzwertanalyse	
--	Mangelhaft	0	Unbefriedigend	0	Praktisch unbrauchbar
				1	Sehr mangelhaft
-	Ausreichend	1	Gerade noch tragbar	2	Schwach
				3	Tragbar
0	Befriedigend	2	Ausreichend	4	Ausreichend
				5	Befriedigend
+	Gut	3	Gut	6	Gut mit geringen Mängeln
				7	Gut
++	Sehr gut	4	Sehr gut	8	Sehr gut
				9	Herausragend
				10	Ideal

Quelle: Eigene Darstellung nach [50] VDI-Richtlinie: 2225 Blatt 3: Konstruktionsmethodik – Technisch-wirtschaftliches Konstruieren – Technisch-wirtschaftliche Bewertung. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1998; S. 4.

Eine zu feinteilige Gliederung der Wertepunkte kann vor allem bei qualitativen Kriterien zu Schwierigkeiten bei der genauen Zuordnung führen, weshalb der Ansatz der VDI-Richtlinie 2225 häufig einen guten Kompromiss darstellt. Da das Ergebnis auch in großem Maß von der Definition der Kriterien abhängt, werden im Folgenden für Hersteller und Betreiber die wesentlichen Kriterien erarbeitet. Aufgrund der Offenheit von SORA ist dabei keine quantitative Zuordnung von Wertebereichen zu einem Wertepunkt möglich. Außerdem hängen die Kriterien und vor allem deren Gewichtung stark vom jeweiligen Unternehmen und bei SORA speziell vom konkreten Einsatz ab, weshalb an dieser Stelle ein eher allgemeiner und qualitativer Ansatz gewählt wird. Je nach Unternehmensphilosophie und Schwerpunkten des Anwenders können diese Kriterien für den konkreten Fall quantifiziert und gegebenenfalls angepasst, erweitert und/oder reduziert werden.

5.1 Kriterien für Hersteller

Wie schon in Kapitel 4.1 dargestellt müssen Hersteller, deren UAS in der spezifischen Kategorie betrieben werden sollen, bereits vor der Entwicklung eine entsprechende Marktanalyse durchführen, um festzulegen, für welche Zwecke die zu entwickelnden UAS einsetzbar sein

¹⁶⁶ Siehe [50] VDI-Richtlinie: 2225 Blatt 3: Konstruktionsmethodik – Technisch-wirtschaftliches Konstruieren – Technisch-wirtschaftliche Bewertung. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1998; S. 3ff.

sollen. Dabei gilt: je mehr technische Vorrichtungen zur Erhöhung der Sicherheit implementiert werden, desto höhere SAIL-Einsätze sind prinzipiell möglich aber desto teurer sind auch die Systeme. Wenn zusätzlich der Markt für niedrige SAILs bedient werden soll, dürfen die Kosten daher nicht den maximalen Kaufpreis potentieller Kunden übersteigen. Ein UAS zu entwickeln, das alle Möglichkeiten abdeckt und trotzdem für jeden Risikobereich erschwinglich ist, wird nicht möglich sein. Ein Hersteller muss sich daher von Beginn an auf gewisse Zielgruppen konzentrieren und versuchen, diese vom Kauf seiner Produkte zu überzeugen. Um eine Bewertung der in Kapitel 4.1.2 identifizierten Kompromisslösungen und damit der jeweils erreichbaren Zielgruppen zu ermöglichen, werden in diesem Kapitel entsprechende Kriterien definiert. Nach der Festlegung auf eine Zielgruppe können diverse andere Kriterien verwendet werden, um sich von der Konkurrenz abzuheben, bspw. durch bessere Qualität, Leistung, Umweltschutz oder höhere Standzeiten. Diese und andere Aspekte sind jedoch erst bei der konkreten Produktentwicklung zu berücksichtigen und werden in dieser Arbeit nicht näher untersucht. Die konkreten Kriterien zur UAS-Entwicklung hängen stark von den gewünschten Einsätzen ab und müssen nach der Auswahl der Kompromisslösung unter Berücksichtigung der vorliegenden Marktsituation bewertet werden.

Für die Entscheidung, welcher Kompromiss eingegangen werden soll, müssen der Aufwand und die Kosten der getroffenen Maßnahmen dem Potential des damit bedienbaren Markts gegenübergestellt werden. Es ergeben sich verschiedene Kriterien, die eine Bewertung ermöglichen können. Zunächst sind dabei zwei Aspekte zu untersuchen, die eine Beschränkung der möglichen Kompromisslösungen darstellen können: die Akzeptanz des Herstellers, Designdetails bekannt zu geben und ob er bereit ist, sich an anerkannte Verfahren zu halten bzw. Organisationsinformationen offenzulegen.

Ist ersteres nicht gewünscht, können mit diesen UAS gem. der ersten Kompromisslösung lediglich Einsätze außerhalb bewohnter Gegenden und nicht über Menschenansammlungen bis SAIL II durchgeführt werden. Durch eine möglichst hohe Kostenreduktion in der Entwicklung und Herstellung kann der dadurch eingeschränkte Markt u. U. ausgeglichen werden.

Ist der Hersteller zur Weitergabe von Designdetails bereit, will sich aber nicht an anerkannte Verfahren halten bzw. keine Organisationsinformationen bekannt geben, können zumindest Einsätze in diesen SAILs über bewohnten Gebieten oder Menschenansammlungen ermöglicht werden. Hier sind die Kosten für das Zugriffsmanagement auf die Daten und die Gefahr der Konkurrenzspionage zu berücksichtigen und gegen das potentiell größere Marktvolumen abzuwägen. Das Zugriffsmanagement korreliert dabei mit der Gefahr der Spionage: Je professioneller und damit teurer das Zugriffsmanagement, desto geringer ist die Gefahr.

Diese beiden Kriterien – Bekanntgabe von Design- und Organisationsinformationen – hängen stark von der Unternehmensphilosophie ab und sind nur schwer zu quantifizieren. Sie können dennoch berücksichtigt werden um zu untersuchen, ob nur eine der ersten beiden

Kompromisslösungen infrage kommt oder eine andere gewählt werden kann. Die weiteren Kriterien können auf alle Kompromisslösungen angewandt werden, da sie auch leichter wirtschaftlich quantifizierbar sind und in Wertebereiche eingeteilt werden können. Diese Einteilung wird aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten und subjektiver Unterschiede zwischen verschiedenen Unternehmen hinsichtlich der Kriterien im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Hersteller müssen hier selbst prüfen, welche individuellen Grenzen sie für die Kriterien und Wertebereiche und wie sie deren Gewichtung festlegen möchten.

Nach Analyse der Forderungen von SORA durch seine OSOs können drei wesentliche Kriterien definiert werden, die den Aufwand und die Kosten für Hersteller zusammenfassen:

1. Die Einhaltung von anerkannten Verfahren und der damit verbundene Aufwand,
2. Technischen Maßnahmen und deren Kosten inkl. Sicherheitsbetrachtungen nach OSO#05 und Maßnahmen am FCS gem. OSO#18, #19 und #24, und
3. Die Einhaltung von Designstandards, die wie oben erwähnt einen sehr hohen Einfluss auf die Kosten haben können.

Es ist zu beachten, dass eine direkte Übertragung der Robustheitsgrade auf die Werteskala des gewählten Verfahrens nicht möglich ist, da die Unterschiede zwischen den Graden variieren und durch viele Spielräume für die Behörden auch international einen unterschiedlichen Aufwand bedeuten können. Außerdem können die Kosten je nach Unternehmensstruktur und Personalaufwand stark variieren.

Den Kriterien bzgl. Aufwand und Kosten des Herstellers, aus denen sich auch die Systemkosten für den Kunden ableiten lassen, muss nun die Marktakzeptanz durch Angebot und Nachfrage gegenüber gestellt werden. Dabei muss mit einer Marktanalyse der potentielle Absatz unter Berücksichtigung der Zielgruppe aber auch der Konkurrenten evaluiert werden. Als weiteres Kriterium kann hierbei der Aufwand zur Etablierung am Markt formuliert werden, wobei zum einen Maßnahmen zu Werbezwecken und zur Abgrenzung von der Konkurrenz berücksichtigt werden müssen. An dieser Stelle sei nochmals auf die Möglichkeit hingewiesen, UAS für Standardszenarien zuzulassen. Dies kann eine weitere Methode darstellen, sich von der Konkurrenz abzuheben.

Aufgrund des einsatzbasierten Ansatzes von SORA und da UAS je nach Einsatzart in unterschiedlichen Kategorien betrieben werden können, ist es nicht möglich, für Hersteller allgemein gültige Kriterien darzustellen. Welche UAS hergestellt werden sollen, hängt stark von der Unternehmensphilosophie und -ausrichtung ab und kann daher nicht pauschal beantwortet werden. Es ist außerdem anzunehmen, dass UAS-Hersteller ein gewisses Portfolio an Produkten anbieten, sodass vor allem bzgl. der Verfahren und Standards u. U. bereits Erfah-

ungen existieren und daher der Aufwand und die damit verbundenen Mehrkosten im Rahmen gehalten werden können. Es ist zudem denkbar, dass einige Hersteller ihre Systeme im Sinne eines Baukastenprinzips anbieten, sodass Nutzer ein auf ihre Bedürfnisse angepasstes UAS erhalten können. Je nach dem konkreten Fall ist daher eine ausführliche Marktanalyse durchzuführen und die gewünschten Maßnahmen sind vor deren Hintergrund zu bewerten. Die dargestellten Kriterien können hierfür als erste Anhaltspunkte dienen, es ist jedoch im Einzelfall zu prüfen, welche zur Bewertung herangezogen werden sollen.

5.2 Kriterien für Betreiber

Im Gegensatz zum Hersteller hat der Nutzer die Möglichkeit, neben dem UAS und anderen technischen Systemen auch die Einsatzparameter wie Art, Zeit oder Gebiet anzupassen. Wie oben dargestellt zeichnet sich SORA durch eine starke Konzentration auf den Einsatz selbst und die Fähigkeiten und Vorkehrungen des Nutzers aus, weshalb hier eine bessere Kriteriendefinition durchführbar ist. Je nach gewünschtem Einsatz sollten durch eine Auswahl von Kompromissen Komplettlösungen zusammengestellt und anhand der folgenden Kriterien bewertet werden. Um die wirtschaftlichste Möglichkeit zu identifizieren, sollten dabei soweit möglich Einsätze ohne Mitigationen nach SORA, in der zertifizierten Kategorie, durch Beauftragung externer UAS-Serviceanbieter, mittels Anpassung an Standardszenarien, Alternativlösungen zum UAS-Einsatz sowie verschiedene Kompromisslösungen durch Anwendung von Mitigationen nach SORA verglichen werden. Die zusammengestellten Komplettlösungen müssen dabei nicht im Detail ausformuliert sein – für die Entscheidungsfindung genügt zu meist eine grobe Abschätzung, nach Ausschluss von ungeeigneten Lösungen kann eine Detailanalyse durchgeführt werden – und werden anhand der Kriterien entsprechend ihrer Charakteristika bewertet. Die Möglichkeiten müssen daher nur so genau formuliert werden, dass diese Bewertung fundiert durchgeführt werden kann. Wie oben erwähnt muss der Betreiber selbst die Gewichtung der Kriterien durchführen, da hier individuelle Parameter des Unternehmens eine große Rolle spielen können. Es ist außerdem möglich, Schwerpunkte der Kriterien zu ändern, sie zu erweitern oder zu reduzieren, je nach Unternehmen und gewünschtem Einsatzspektrum. Auch ein bereits vorhandenes LUC kann den Lösungsfindungsprozess beeinflussen. Die folgenden Kriterien sollten daher wie auch die für Hersteller lediglich als Anhaltspunkte und nicht als unveränderliche oder abschließende Auflistung verstanden werden. Um eine Vergleichbarkeit der Kriterien herzustellen, sollten direkte Kosten auf eine gleiche Zeiteinheit heruntergebrochen werden. Bei einer Durchführung nur weniger Einsätze bietet sich für Unternehmen eine Betrachtung pro Einsatz an, bei häufigerer Nutzung kann eine monatliche, quartals-, halb- oder ganzjährige Betrachtung vorgezogen werden. Es ist zu beachten, dass für die Auswahl einer Alternative vor allem die Unterschiede zu betrachten sind und die Bewertung der Kriterien entsprechend durchzuführen ist.

Zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des UAS-Einsatzes können zunächst dessen Kosten analysiert werden. Generell lassen sich Kosten einer Luftverkehrsgesellschaft nach Abb. 21 aufteilen. Für UAS-Einsätze kann diese Aufteilung ebenfalls herangezogen werden und entsprechend der Besonderheiten des unbemannten Einsatzes angepasst werden.

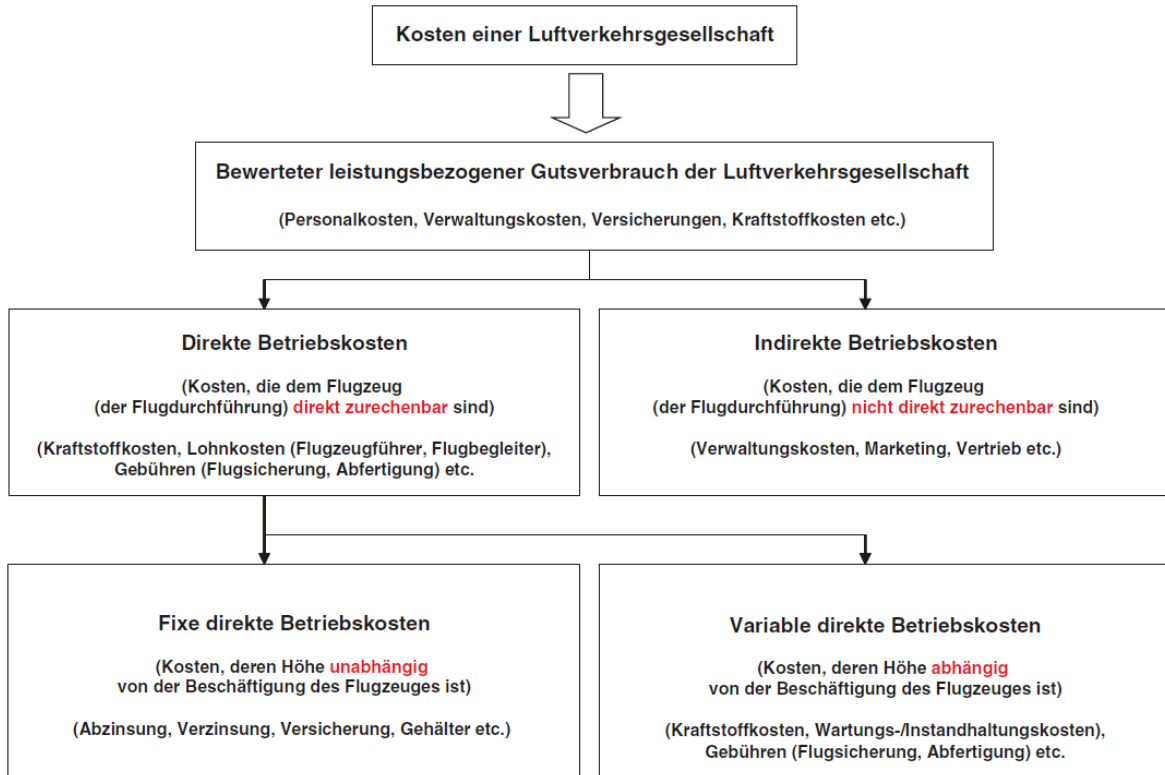


Abb. 21: Systematik der Kosten einer Luftverkehrsgesellschaft

Quelle: [7] Mensen, H.: Handbuch der Luftfahrt. 2., neu bearbeitete Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2013; S. 1280.

Die indirekten Betriebskosten unterscheiden sich je nach Lösungsmöglichkeit und Unternehmensstruktur stark bzgl. ihrer Ausprägung. Die Marketing- und Vertriebskosten werden an dieser Stelle nicht weiter dargestellt, da sie für den UAS-Einsatz und die Auswahl eine untergeordnete Rolle spielen. Die Verwaltungskosten können jedoch bei den Lösungen stark variieren, bspw. zwischen einer Beauftragung eines UAS-Serviceanbieters, einem eigenen SORA-Einsatz oder einem eigenen bemannten Einsatz. Je nach Unternehmensstruktur können zusätzliche Verwaltungskosten durch die gewählte Einsatzart vollkommen unterschiedliche Auswirkungen haben, dies sollte je nach Unternehmen in der Gewichtung des Kriteriums berücksichtigt werden. Neben den Verwaltungskosten können weitere indirekte Betriebskosten anfallen, die dem Einsatz nicht direkt zugerechnet werden können. Da hier keine gravierenden Unterschiede zwischen den Lösungen zu erwarten sind, können die indirekten Kosten, die sich in diesem Fall hauptsächlich durch die Verwaltungskosten ergeben werden, als ein Kriterium zusammengefasst werden.

Bei den direkten Betriebskosten ist eine weitere Unterteilung der Kriterien aufgrund deren Vielzahl und der unterschiedlichen Ausprägungen in den Lösungen sinnvoll. Dabei wird hier jedoch nicht in fixe und variable Betriebskosten unterschieden, da SORA auf jeden Einsatz der spezifischen Kategorie anzuwenden ist und sich somit auch die in der bemannten Luftfahrt als fixe Kosten bezeichneten Anteile je nach Einsatz verändern können. Auch hier ist es außerdem sinnvoll, für einen möglichst guten Vergleich die Kosten auf eine bestimmte Periode zu normieren. Die direkten Kosten setzen sich im Wesentlichen aus technischen, betrieblichen, personellen und organisatorischen Aspekten zusammen. Anhand dieser Aufteilung werden im Folgenden ableitbare Kriterien ermittelt, wobei nicht nur die Kostenaspekte berücksichtigt werden, sondern auch nichtquantifizierbare Kriterien abgeleitet werden.

Die technischen Anteile ergeben sich im Wesentlichen aus dem UAS selbst sowie dessen Erhaltung. Das naheliegende Kriterium sind daher die Anschaffungskosten des UAS, die sich je nach gewählter Lösung unterscheiden können. So kann man bspw. ein günstiges UAS mit wenigen technischen Vorkehrungen zur Reduktion des Risikos verwenden, wodurch dieses Kriterium mit einer guten Punktzahl bewertet werden kann. Diese Auswahl kann sich jedoch in den (folgenden) Kriterien bspw. beim Service, der Lebensdauer oder auch der Missionsdauer durch den Mangel an technischen Mitigationen für die GRC, die eine Ausweichroute erforderlich machen, negativ auswirken. Auch könnte, um ein Standardszenario anwenden zu können, ein teureres UAS in Kauf genommen werden, allerdings dürften in diesem Fall einige andere Kriterien besser bewertbar sein.

Neben den Anschaffungskosten sind auch Kosten zur Erhaltung des Systems zu berücksichtigen, die Instandhaltung, Wartung und Reparatur beinhaltet. Optional kann dieses Kriterium außerdem in direkte Kosten und Aufwand aufgeteilt werden: Bei reiner Erhaltung beim Hersteller können die Kosten hoch sein und dafür der eigene Aufwand gering, eine Service-Werkstatt im eigenen Haus kann einen hohen Aufwand bedeuten, die direkten Kosten können aber im Rahmen gehalten werden.

Als weiteres Kriterium kann der Service des Herstellers durch Modifikationsmanagement und -unterstützung sowie die Bereitstellung von Updates zur Verbesserung der Systeme aufgeführt werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, inwieweit Modifikationen, die für den gewünschten Einsatz notwendig sind und nicht unbedingt durch den UAS-Hersteller angeboten werden, unterstützt werden.

Die Leistung des UAS sollte ebenfalls als Kriterium berücksichtigt werden. Dabei sollte die höchste Punktzahl der Leistung entsprechen, die alle sich aus dem Einsatz ergebenden Anforderungen übertrifft, während bei der niedrigsten Punktzahl der Einsatz nur noch mit großen Einschränkungen durchgeführt werden kann. Ist die Leistung für den Einsatz nicht ausreichend sollte diese Lösung vor dem Bewertungsprozess bereits als ungeeignete Variante herausgefiltert worden sein.

Besonders für Unternehmen, die sich auf die Durchführung von UAS-Einsätzen spezialisiert haben oder dies anstreben, spielt außerdem die Lebensdauer der Systeme eine große Rolle, die als weiteres technisches Kriterium genannt wird. Dieses Kriterium kann auch durch den angebotenen Service des Herstellers und die Erhaltungskosten beeinflusst werden, die sich wiederum auf die Anschaffungskosten auswirken können. So kann bspw. ein höherer Preis eines Systems ein gutes Serviceangebot und Instandhaltungen beinhalten, die eine hohe Lebensdauer des UAS gewährleisten sollen. Durch die Gewichtung der Kriterien muss der Betreiber hier selbst entscheiden, wie wichtig ihm die einzelnen Aspekte sind. Im Sinne der Unabhängigkeit ist darauf zu achten, diese Kriterien vor der Bewertung klar zu definieren und abzugrenzen, um eine Verzerrung zu verhindern.

Als letzte technische Anteile können abhängig von Unternehmen und/oder Einsatzgebiet Umweltaspekte eine Rolle spielen, wie groß diese gesehen wird muss durch die Gewichtung vom Unternehmen selbst entschieden werden. Insbesondere Umweltschutz bzgl. der verwendeten Materialien und der Emissionen sowie Lärmschutz können dabei berücksichtigt werden. Weitere technische Kriterien können je nach Unternehmen hinzugezogen werden, bspw. die Qualität des UAS oder das Aussehen, für die Auswahl einer der Kompromisslösungen wird ihr Einfluss jedoch als eher gering eingestuft. Ist eine generelle Lösung bspw. mit einer Gruppe möglicher Systeme ausgewählt, kann mit diesen feineren Kriterien nochmals eine entsprechende Bewertung bspw. zur Auswahl eines konkreten UAS durchgeführt werden.

Als betriebliche Anteile werden an dieser Stelle in jedem Einsatz mit dem gleichen UAS wiederkehrende Aspekte bezeichnet, die direkt mit dem Betrieb an sich zusammenhängen. Sie werden stark von der Missionsplanung und der Einsatzroute und -dauer beeinflusst. Diese werden dabei selbst nicht als Kriterium dargestellt, sondern ihr Einfluss auf die von ihnen abhängigen Kriterien heruntergebrochen – durch die starke Abhängigkeit verschiedener Kriterien von der Missionsplanung wie bei Kraftstoffverbrauch oder Personalkosten würde eine zusätzliche Berücksichtigung als eigenes Kriterium zu einer Verzerrung der Bewertung führen. Die durchgeführten Überlegungen hinsichtlich der Route bspw. zur Verringerung der GRC und/oder ARC werden bei sorgfältig durchgeführter Analyse durch andere Kriterien ausgedrückt. So kann bspw. bei einer Route mit niedrigerem ARC ein höherer Gesamtverbrauch des Antriebsmittels in Kauf genommen werden und dieses Kriterium daher schlechter bewertet werden, allerdings können die TMPR und eventuell durch ein geringeres SAIL die notwendigen OSOs leichter erfüllt werden, sodass deren Punktzahl besser ausfallen kann. Es werden daher die detaillierteren Kriterien empfohlen, da die Einsatzplanung den gesamten Einsatz auf unterschiedliche Weisen verändern und nicht pauschal mit einem einzigen Wert beschrieben werden kann.

Direkt abhängig von der Flugroute und -dauer sind die Kosten für das verwendete Antriebsmittel. Dies kann ein Kraftstoff sein oder auch elektrische Energie, die in Batterien gespeichert wird. Der Verbrauch kann dabei je nach UAS variieren, weshalb nochmals die Wichtigkeit der gesamtheitlichen Betrachtung des Lösungssets hervorgehoben wird.

Auch Mitigationen von SORA müssen hinsichtlich ihrer Kosten und des Aufwands in den Kriterien abgebildet werden. Je nach gewähltem Lösungssset ergeben sich zunächst Kosten für Mitigationen der GRC – bspw. durch entsprechende Vorkehrung für einen Notfallplan –, die daher als weiteres Kriterium berücksichtigt werden können. Die strategischen Mitigationen der ARC beschränken vorwiegend die Flexibilität des Einsatzes, weshalb sie an dieser Stelle nicht als eigenes Kriterium gesehen werden.

Aus den gewählten Einsatzparametern und den Mitigationen ergeben sich nach SORA die Rest-ARC und das SAIL. Erstere definiert, mit welchem Grad die TMPR erfüllt werden müssen, sofern ein BVLOS-Einsatz durchgeführt wird. Diese taktischen Mitigationen der ARC können im Gegensatz zu den strategischen direkt eine große Auswirkung auf die Lösungsfindung ausüben, weshalb sie als eigenständiges Kriterium betrachtet werden sollen.

Das SAIL bestimmt mit welchen Robustheiten die OSOs erfüllt werden müssen. Diese haben wiederum verschiedene Auswirkungen auf unterschiedliche Aspekte und definieren in gewissem Sinne die Ausprägung anderer Kriterien. Um die Unabhängigkeit der Kriterien zu gewährleisten, sollte das SAIL daher nicht als eigenständiges Kriterium betrachtet werden: Die OSOs sind durch die technischen (siehe oben), die personellen und organisatorischen (siehe unten) Kriterien bereits hinreichend repräsentiert.

Auch das Personal stellt einen wichtigen Faktor bei der Bewertung der Einsatzlösung dar und muss mit entsprechenden Kriterien abgebildet werden. Zwei wesentliche Aspekte sind dabei zu betrachten: Zum einen können die Einsätze eine unterschiedliche Personalstärke benötigen. So kann bspw. bei einem Einsatz, der zur Reduktion der GRC über kontrolliertem Bodengebiet stattfindet, ein erhöhter Personalbedarf zur Absperrung am Boden notwendig sein, als bei vergleichbaren Einsätzen über anderen Bodengebieten, oder es sind zusätzliche Luftraumbeobachter zur Erfüllung der TMPR vorgesehen.

Zum anderen definieren die OSOs gewisse Crewkompetenzen und Trainingsanforderungen, die einzuhalten sind und für Nutzer einen Mehraufwand bedeuten können. Es kann somit ein Kriterium definiert werden, das den initialen und u. U. fortlaufenden Trainingsaufwand der Lösungsmöglichkeiten beschreibt.

Als letzter Hauptaspekt sind organisatorische Anteile zu nennen. Dabei stellt vor allem die OSO#01 Anforderungen an die Organisation selbst, aber auch andere OSOs wie #16 haben einen Einfluss darauf. Wie groß die Auswirkungen der Anforderungen hier ausfallen, hängt stark von der bereits existierenden Organisation und der zuständigen Behörde sowie deren

Strenge bei der Auditierung ab. Hauptsächlich sind bei diesen Forderungen ausreichende Verfahren und Standards einzuhalten und Audits zu bestehen, die Gewichtung sollte daher auf Erfahrungen mit der zuständigen Behörde beruhen oder es sollte vorher mit der zuständigen Behörde Kontakt aufgenommen werden, um den Aufwand hierfür abzuschätzen.

Als weiteres organisatorisches Kriterium können Versicherungen herangezogen werden, die bei risikoreichen Einsätzen durchaus hohe Prämien verlangen könnten. Für die offene Kategorie können Versicherungsprämien aus dem Modellflug abgeleitet werden, für die zertifizierte Kategorie aus der bemannten Luftfahrt. Inwieweit sich Versicherer auf die spezifische Kategorie von UAS einlassen und welche Prämien eventuell abgestuft nach Risikolevel angesetzt werden, kann heute noch nicht abgeschätzt werden.

Als letztes organisatorisches Kriterium werden der Genehmigungsaufwand und die -kosten identifiziert. Hier kann besonders die Möglichkeit eines LUC vorteilhaft sein, je nach Häufigkeit von Einsätzen und Herunterbrechen der Zertifizierungskosten auf den konkreten Einsatz kann aber auch die Zertifizierung relativ gut bewertet werden – bei wenigen Einsätzen wird die Punktzahl der Zertifizierungslösung dagegen eher schlecht abschneiden.

Zuletzt soll ein weiteres Kriterium dargestellt werden, das je nach Unternehmen einen sehr großen Einfluss haben kann: die Flexibilität. Wie bereits vermehrt angesprochen, kann das Risiko des Einsatzes durch Anwendung von Mitigationen eingeschränkt werden, die jedoch einen wesentlichen Einfluss auf die Flexibilität haben können. Nutzt ein Unternehmen UAS lediglich für wenige Einsatzarten, kann diese Einschränkung billigend in Kauf genommen und mit einer niedrigen Gewichtung versehen werden. Ein UAS-Servicedienstleister kann es jedoch gerade auf eine hohe Flexibilität abgesehen haben, bspw. wenn er mit einem dreiflügeligen UAS ohne ausführlichen Genehmigungsaufwand auch kurzfristige Einsätze zu Inspektions-, Logistik- und Aufnahmезwecken anbieten möchte. Hier ist eine hohe Gewichtung für dieses Kriterium anzuwenden. Die Flexibilität hängt also sehr stark von der Ausrichtung des Unternehmens ab und sollte als Gegenpart zur Risikoreduktion in SORA als eigenständiges Kriterium behandelt werden.

Die Kriterien, mit denen eine Bewertung bspw. nach [50] VDI 2225 durchgeführt werden kann, sind zusammenfassend in Tabelle 13 dargestellt. Für die letztliche Bewertung ist die Gewichtung je nach Prioritäten des Unternehmens durchzuführen und sollte in Summe 100 % ergeben. Als Lösungsvorschläge sollten neben verschiedenen Ansätzen mit SORA auch der Verzicht auf die gesamte Fähigkeit, alternative Lösungswege ohne Flugeinsatz, ein bemannter Flugeinsatz, ein Einsatz mit Zertifizierung und die Beauftragung eines externen Anbieters berücksichtigt werden. Natürlich ist vor der Bewertung der Lösungsmöglichkeiten zu prüfen, ob diese Möglichkeiten überhaupt in Betracht kommen oder von vornherein ausgeschlossen werden können.

Tabelle 13: Zusammenfassung der Kriterien

Technische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Anschaffungskosten des UAS - Erhaltungskosten des UAS <ul style="list-style-type: none"> • Direkte Erhaltungskosten • Erhaltungsaufwand - Serviceangebot <ul style="list-style-type: none"> • Modifikationsmanagement und -unterstützung • Bereitstellung von Updates - Leistung des UAS - Lebensdauer des UAS - Umwelt- und Lärmschutz
Betriebliche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Verbrauchskosten der Antriebsmittel - GRC-Mitigationsaufwand - Aufwand der taktischen ARC-Mitigation
Personelle Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Notwendige Personalstärke - Crewkompetenz und Training
Organisatorische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Unternehmensorganisation und Verfahrenseinhaltung - Versicherung - Genehmigungsaufwand
Weitere Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Indirekte Betriebskosten - Flexibilität

Quelle: Eigene Darstellung.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der neuen Vorschriften der EASA bzgl. der Zulassungs- und Genehmigungsbasis von UAS ist es, das einheitlich hohe Sicherheitsniveau der heutigen Luftfahrt trotz neuer Akteure durch unbemannte Systeme zu erhalten. Dabei wurde für die spezifische Kategorie ein neuer Ansatz gewählt, der stark auf operationellen Einschränkungen beruht: das in dieser Arbeit untersuchte SORA. Aufgrund der Neuartigkeit dieser Vorgehensweise wird in der vorliegenden Arbeit das Potential analysiert, das SORA für UAS-Hersteller und -Betreiber darstellt.

Zu diesem Zweck wurde anfangs ein allgemeiner Überblick über die Zulassung ziviler Luftfahrzeuge in Europa dargestellt. Da der untersuchte Ansatz auf EASA-Regularien basiert und europaweit anerkannt werden soll, beschränkt sich auch die vorliegende Arbeit auf die europäische Sicht. Nach einem kurzen geschichtlichen Abriss wird die Zulassung bemannter ziviler Luftfahrzeuge dargestellt, die mit dem im Laufe der Jahre gewachsenen Sicherheitslevel die Grundlage für die UAS-Regularien bilden. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Sicherheitsanforderungen gelegt, für die SORA einen AMC der entsprechenden UAS-Regelung darstellen kann. Anschließend wird kurz der UAS-Markt dargestellt, aus dem die heutige Relevanz von UAS-Einsätzen ersichtlich wird, auf die entsprechenden Regularien eingegangen und die Forderungen getrennt nach den UAS-Kategorien dargestellt. Dabei ist zu erwähnen, dass für alle Kategorien der gleiche Sicherheitslevel gefordert wird, der den der gesamten Zivilluftfahrt nicht verringern darf – lediglich der Weg zu seiner Erreichung ist unterschiedlich. Eine Zulassung im luftfahrtrechtlichen Sinne wird dabei nur in der zertifizierten Kategorie erreicht, die anderen beiden Kategorien erhalten lediglich Einsatzerlaubnisse, wenn der Einsatz in der offenen Kategorie nicht sogar erlaubnisfrei ist. Zur Vereinfachung der Genehmigung spezifischer Einsätze wird je nach Unternehmen und gewünschten Einsatzarten zudem ein großes Potential in Standardszenarien und LUCs gesehen.

Wie in der bemannten Luftfahrt spielen Sicherheitsbewertungen auch bei UAS eine wichtige Rolle, wobei in der offenen Kategorie der Einsatz an sich bereits sehr risikoarm ist und keine besonderen Anforderungen gelten. Anders sieht es in der spezifischen und zertifizierten Kategorie aus: Das hohe Risiko, das von zertifizierten Einsätzen ausgeht, erfordert die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen wie in der bemannten Luftfahrt, wofür ein eigener AMC RPAS.1309 von JARUS entwickelt wurde. In Kapitel 3 werden dieser eher klassische und der neue, einsatzbasierte Ansatz der spezifischen Kategorie mit SORA zunächst dargestellt und anschließend verglichen. Dabei ist besonders bemerkenswert, dass SORA im Gegensatz zum AMC RPAS.1309 keine konkreten Sicherheitszahlen fordert und eher eine Handlungsempfehlung darstellt. Häufig werden dabei lediglich ein qualitatives Ziel, jedoch nicht die Maßnahmen, die zu dessen Erreichen akzeptabel sind, definiert. Dadurch können

Interpretationsunterschiede zu Diskrepanzen zwischen Behörden und Nationen führen, die einer Anerkennung von Genehmigungen im Wege stehen können. Die bemannte Luftfahrt konzentriert sich außerdem hauptsächlich auf den Schutz der Personen an Bord; dies ist bei UAS aus naheliegenden Gründen kein geeigneter Ansatz. Daher wird bei SORA mit der GRC das Risiko für Personen am Boden und mit der ARC das für andere Luftverkehrsnutzer bewertet und daraus mit dem SAIL der Gesamtrisikolevel bestimmt. Die möglichen Mitigationen und die mit den SAILs festgelegten OSOs werden im Wesentlichen als ausreichend angesehen, das Risikolevel auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Lediglich der komplette Verzicht auf taktische Mitigationen der ARC in Form von TMPR bei VLOS- und EVLOS-Einsätzen wird eher kritisch gesehen. Beim abschließenden Vergleich der Ansätze beider Kategorien wird festgestellt, dass ab SAIL IV lediglich marginale Unterschiede zur zertifizierten Kategorie bestehen. Aufgrund behördenseitiger Interpretationsspielräume bei SORA wird hier nochmals die Wichtigkeit einer frühzeitigen und konstruktiven Kooperation und Kommunikation mit allen zuständigen Stellen hervorgehoben.

In Kapitel 4 werden anhand der verschiedenen Alternativen von SORA, die jeweils eigene Vor- und Nachteile besitzen, die Potentiale möglicher Kompromisslösungen erarbeitet. Es ergeben sich dabei wesentliche Unterschiede zwischen den Betrachtungsweisen für Hersteller und Betreiber, weshalb zwischen ihnen unterschieden wird. Es werden zunächst für beide Interessentengruppen Kompromisspotentiale anhand der einzelnen Schritte von SORA untersucht und deren Auswirkungen dargestellt. Daraus werden anschließend komplette Kompromisslösungen zusammengestellt, die als Anhaltspunkte dienen können. Es ist zu beachten, dass diese aufgrund der Vielzahl der Möglichkeiten mit SORA keinesfalls als abschließende Aufzählung zu betrachten sind und stets auch eigene alternative Lösungswege gesucht werden können. Für eine anfängliche Betrachtung des Potentials von SORA durch diese Kompromisse sind die dargestellten Möglichkeiten jedoch ausreichend.

Zum Abschluss der Arbeit werden Bewertungskriterien für die Auswahl der Kompromisslösungen erarbeitet. Dazu werden zunächst das generelle Vorgehen im System Engineering bei der Lösungsbewertung und deren Relevanz dargestellt. Anschließend wird wiederum in Hersteller und Betreiber aufgeteilt die Kriteriendefinition durchgeführt. Man stößt hierbei für erstere schnell an Grenzen, da deren Kompromisse lediglich aus verschiedenen Einsatzspektren ihrer UAS bestehen. Für sie werden ausführliche Marktanalysen der identifizierten Kompromisslösungen unter Berücksichtigung eigener Vorgaben und Präferenzen als erfolgversprechende Vergleichsmethode betrachtet. Allgemeingültige und pauschale Kriterien können für Hersteller nicht definiert werden, die dargestellten grob formulierten Kriterien können jedoch als erste Anhaltspunkte eigener Bewertungsmethoden dienen. Für Betreiber ist hier eine detailliertere Vorgehensweise möglich. Da SORA sehr nutzer- und einsatzkonzentriert

ist, können eine Vielzahl passender Kriterien zur Bewertung möglicher Lösungen definiert werden, die auch hier keine abschließende und unveränderliche Aufzählung darstellen. Je nach Prioritäten und Ausrichtung des Betreiberunternehmens können die Kriterien und deren Schwerpunkte angepasst, ergänzt und/oder reduziert werden, eine entsprechende Gewichtung ermöglicht jedoch auch bei Verwendung der identifizierten Kriterien eigene Präferenzen einfließen zu lassen. Eine allgemeingültige Gewichtung kann aufgrund der Vielzahl möglicher Einsatzformen nicht durchgeführt werden.

Es bleibt also festzuhalten, dass SORA ein wirksames Werkzeug darstellen kann, wenn Einsätze aus diversen Gründen nicht in der zertifizierten Kategorie durchgeführt werden sollen. Durch seinen einsatzbasierten Ansatz und eine Vielzahl möglicher Eingriffsmöglichkeiten kann es auch von kleineren Unternehmen zumindest für risikoarme Einsätze gewinnbringend genutzt werden. Es bietet außerdem ein hohes Potential zur Unterstützung des UAS-Marktes unter Beibehaltung der in der heutigen Luftfahrt üblichen hohen Sicherheit. Gleichwohl ist anzumerken, dass durch die großen Interpretations- und Auslegungsspielräume der zuständigen Behörden erhebliche Diskrepanzen entstehen können. Spätestens ab SAIL IV ist zudem zu prüfen, ob der Einsatz nicht besser mit einer richtigen Zertifizierung durchgeführt werden soll, weshalb diese Einsätze für kleinere Unternehmen durch die hohen Anforderungen wiederum zu Schwierigkeiten führen können.

Das Thema UAS-Zulassung bzw. -Genehmigung ist höchst aktuell, was auch an der erst kürzlich veröffentlichten SORA Ed. 2.0 gesehen werden kann. Dabei ergaben sich zur vorherigen Version nicht nur redaktionelle, sondern auch inhaltliche Änderungen, auf die in dieser Arbeit stellenweise eingegangen wurde. So haben sich bspw. der komplette GRC-Prozess und die Reihenfolge der Schritte geändert. Des Weiteren arbeitet JARUS bereits an weiteren Anpassungen insbesondere an weiteren Annexes, die akzeptable Standards und Verfahren definieren und somit die Handlungssicherheit sowohl auf Seiten der Behörden als auch der Anwender erhöhen sollen; gerade in diesen „akzeptablen“ Maßnahmen wird heute ein großes Risiko von Diskrepanzen gesehen. Einen weiteren Aspekt, der in Zukunft UAS-Einsätze beeinflussen kann, stellt das EU-STS dar, das EASA derzeit erarbeitet und durch die Definition von Standardszenarien die Genehmigung einer Vielzahl spezifischer Einsätze weiter vereinfachen und Kosten auf allen Seiten reduzieren soll. Außerdem bietet der noch zu etablierende U-Space, auf den an mehreren Stellen hingewiesen wird, ein sehr großes Potential, den unbemannten Luftverkehr zum Positiven zu beeinflussen. Er kann auch für die zertifizierte Kategorie von Relevanz sein, an der ebenfalls diverse Gremien aktiv sind: Die CS-UAS, die derzeit von JARUS zur externen Konsultation freigegeben und noch nicht der Öffentlichkeit zugänglich ist, kann einen großen Einfluss auf die Sicherheit von UAS-Einsätzen und der Handlungssicherheit der Betroffenen ausüben.

Es zeigt sich also, dass in diesem Feld des Einsatzes unbemannter Luftfahrzeuge gerade in letzter Zeit, aber auch in naher Zukunft noch viel Bewegung ist. Die entsprechenden Regularien und Richtlinien werden auf die neuen Herausforderungen durch diese Einsätze angepasst, um die Sicherheit der Luftfahrt zu erhalten, aber gleichzeitig neue Einsatzmöglichkeiten nicht zu behindern. Dies ist immer eine Gratwanderung und gerade die derzeit noch mangelnde Erfahrung in diesem Bereich erschwert es, die Wirksamkeit der Maßnahmen abzuschätzen. Ein jahrelanger Aufbau von Erfahrung war nötig, um das heutige Vertrauen in die bemannte Luftfahrt herzustellen, und im Laufe ihrer Geschichte mussten immer wieder Rückschläge hingenommen werden. Durch die fortschreitende Technologie ist zwar zu erwarten, dass UAS an sich immer sicherer werden, allerdings wird es auch hier einen umfassenden Erfahrungsschatz brauchen, um ein ähnliches Vertrauen in die unbemannte Luftfahrt zu erreichen. Dennoch ist die Technologie auf dem Vormarsch und lässt sich durch die inzwischen identifizierten Potentiale und besonders die auch bei UAS immer weiter fortschreitende Autonomie nicht mehr aufhalten. Die von JARUS und EASA bisher getroffenen und auf den Weg gebrachten Maßnahmen tragen jedoch dazu bei, dass UAS in absehbarer Zukunft zum alltäglichen Anblick gehören können.

Literaturverzeichnis

Bücher und selbstständige Quellen

- [1] Beck, M.: Dr. Drohne: Die Drohnen-Verordnung: Bewertung geplanter Normen zur Regulierung ziviler Drohnen anhand von ökonomischen Interessen und gesellschaftlichen Risiken. 1. Auflage, Norderstedt: Books in Demand 2017.
- [2] Beck, M.: Drohnen Guide Band 1 – Basiswissen für den Kenntnisnachweis. 1. Auflage, Egelsbach: R. Eisenschmidt GmbH 2017.
- [3] Beck, M.: Drohnen Guide Band 2 – Risikomanagement für zivile Drohnen & SORA. 1. Auflage, Egelsbach: R. Eisenschmidt GmbH 2018.
- [4] Beck, M.: SORA: Das Risikomanagement für Drohnen. In: Drohnenmagazin, 4/2017, S. 52ff.
- [5] EASA/NAA Task Force: Study and Recommendations regarding Unmanned Aircraft System Geo-Limitations. Köln, 2016.
- [6] Haberfellner, R.; u. a.: Systems Engineering. 13. Aktualisierte Auflage, Zürich: Orell Füssli Verlag AG 2015.
- [7] Mensen, H.: Handbuch der Luftfahrt. 2., neu bearbeitete Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2013.
- [8] Nikodem, F.; Dittrich, J. S.; Bierig, A.: The new specific operations risk assessment approach for UAS regulation compared to common civil aviation risk assessment. DLR, Braunschweig 2018.
- [9] Züst, R.: Einstieg ins Systems Engineering. 3. Überarbeitete Auflage, Chur: ibW Höhere Fachschule Südostschweiz 2015.

Internetquellen

- [10] AeroAstro GmbH, Fleming, C.; Bad Waldsee: http://psas.scripts.mit.edu/home/wp-content/uploads/2014/03/Fleming_STPA_ARP4761_revA.pdf Stand: 27.04.2019.
- [11] Access Intelligence, Bellamy III, W.; Rockville: <http://interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/february-2017-march-2017/do-178c-software-for-nextgen-avionics-uavs-and-more/> Stand: 28.04.2019.
- [12] Drohnen-Journal.de, Arndt, B.; Köln: <https://www.drohnen-journal.de/drohnen-zwischenfall-am-frankfurter-flughafen-2296> Stand: 27.04.2019.
- [13] Drone Industry Insights UG; Hamburg: <https://www.droneii.com/uas-safety-risk-assessment> Stand: 27.04.2019.

-
- [14] DroneRules.eu; Brüssel: http://dronerules.eu/de/professional/eu_regulations_updates
Stand: 27.04.2019.
- [15] EASA, JARUS, CPNI; Köln: https://skyopener.eu/wp-content/uploads/2018/09/1_EASA_UAS-Ops-In-Open-Specific-Categories_180709_TR.pdf Stand: 27.04.2019.
- [16] EASA; Köln: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas>
Stand: 27.04.2019.
- [17] EASA; Köln: <https://www.easa.europa.eu/regulations> Stand: 27.04.2019.
- [18] Eurocontrol; Brüssel: <https://www.eurocontrol.int/dossiers/flight-planning-air-route-network-and-airspace-design-europe> Stand: 28.04.2019.
- [19] FAA UAS Symposium; Baltimore: https://www.faa.gov/uas/resources/events_calendar/archive/2018_uas_symposium/media/risk-mitigation-in-uas-operations.pdf
Stand: 27.04.2019.
- [20] Giemulla, E. M.; Berlin: <https://www.kolloquium-flugfuehrung.de/wp/wp-content/uploads/2016/03/Giemulla.pdf> Stand: 27.04.2019.
- [21] Handelsblatt GmbH; Düsseldorf: https://www.handelsblatt.com/arts_und_style/aus-aller-welt/neuseeland-passagiermaschine-kollidiert-bei-landeanflug-beinahe-mit-drohne/21118362.html?ticket=ST-584234-VMPbbTaezADqYp5lw7UQ-ap1
Stand: 27.04.2019.
- [22] Hinsch, M.; Hamburg: https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dgllr/hh/text_2012_05_10_Musterzulassung.pdf Stand: 27.04.2019.
- [23] JARUS: <http://jarus-rpas.org/publications> Stand: 28.04.2019.
- [24] JARUS: <http://jarus-rpas.org/who-we-are> Stand: 27.04.2019.
- [25] Kopter-Profi GmbH; Müden: <https://www.kopter-profi.de/ratgeber/sora-rechner>
Stand: 27.04.2019.
- [26] La Cour-Harbo, A.; Aalborg: https://www.researchgate.net/publication/323367176_The_Value_of_Step-by-Step_Risk_Assessment_for_Unmanned_Aircraft
Stand: 27.04.2019.
- [27] Marko, J.; Ottawa: <https://aiac.ca/wp-content/uploads/2018/11/MARKO-JIM.pdf>
Stand: 27.04.2019.
- [28] SESAR Joint Undertaking; Brüssel: <https://www.sesarju.eu/discover-sesar>
Stand: 27.04.2019.
- [29] UAV DACH – Services UG, Eschbach, P.; Salem: <https://uas-office.de/?portfolio=sora-certified-category-nach-easa> Stand: 27.04.2019.

- [30] UAV DACH e.V.; Braunschweig: <https://www.uavdach.org/?p=3322>
Stand: 27.04.2019.

Normen und Richtlinien

- [31] AMC RPAS.1309: Safety Assessment of Remotely Piloted Aircraft Systems. Issue 2, JARUS WG 6, November 2015.
- [32] Amtsblatt der Europäischen Union: Verordnung (EU) Nr. 2018/1139 des europäischen Parlaments und des Rates. EU Parlament, Rat, Straßburg 2018.
- [33] Amtsblatt der Europäischen Union: Verordnung (EU) Nr. 748/2012 der Kommission. EU Kommission, Brüssel 2012.
- [34] ARP 4754A: Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems. SAE Aerospace, Warrendale 2010.
- [35] ARP 4761: Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment. SAE Aerospace: Warrendale 1996.
- [36] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten. Berlin 2016.
- [37] CS-23: Certification Specification for Normal-Category Aeroplanes. Amendment 5, EASA: Köln 2017.
- [38] CS-25: Certification Specification and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes. Amendment 22, EASA: Köln 2018.
- [39] DO-160: Environmental Condition and Test Procedures for Airborne Equipment. RTCA, EOROCAC: Washington, Saint-Denis 2010.
- [40] DO-178C: Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification. RTCA, EOROCAC: Washington, Saint-Denis 2012.
- [41] DO-254: Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware. RTCA, EOROCAC: Washington, Saint-Denis 2000.
- [42] NfL 1-1163-17: Gemeinsame Grundsätze des Bundes und der Länder für die Erteilung von Erlaubnissen und die Zulassung von Ausnahmen zum Betrieb von unbemannten Fluggeräten gemäß § 21a und § 21b Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO). DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2017.
- [43] NPA 2017-05 (A): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. Köln: EASA 2017.

-
- [44] NPA 2017-05 (B): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones, unmanned aircraft system operations in the open and specific category. Köln: EASA 2017.
 - [45] Opinion No 01/2018: Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the 'open' and 'specific' categories. Köln: EASA 2018.
 - [46] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 2.0, JARUS WG 6, 31.01.2019.
 - [47] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 1.2, JARUS WG 6, 31.05.2018.
 - [48] SORA: JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment. Ed. 1.0, JARUS WG 6, 26.06.2017.
 - [49] UAS OPS: UAS Operational Categorization. JARUS WG 7, Ed. 0.3.1, Dokument zur externen Konsultation, 05.07.2018.
 - [50] VDI-Richtlinie: 2225 Blatt 3: Konstruktionsmethodik – Technisch-wirtschaftliches Konstruieren – Technisch- wirtschaftliche Bewertung. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1998.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vergleich des Luftverkehrs zwischen 1998 und 2015	8
Abb. 2: Schwere von Fehlern gegen erlaubte Wahrscheinlichkeiten	12
Abb. 3: Industriestandards für den Paragraphen 1309	15
Abb. 4: SAE ARP 4761A Prozess, schematisch	15
Abb. 5: Globaler Drohnenmarkt nach Anwendung von 2015–2020 (in Mio. US-Dollar)	17
Abb. 6: EASA Prozess zur Erarbeitung der UAS-Regelung für „Offen“ und „Spezifisch“	19
Abb. 7: Risiko von UAS-Einsätzen gegen Einbeziehungsgrad der Behörden.....	21
Abb. 8: Prozentuale Aufteilung verschiedener UAS-Muster nach Gewicht.....	22
Abb. 9: Label für UAS der Klasse C0	26
Abb. 10: Anerkennung von spezifischen Einsätzen in einem anderen EU-Staat	29
Abb. 11: Übersicht über EASA-Teile	32
Abb. 12: Von ConOps zum TC.....	32
Abb. 13: Systemaufteilung eines UAS	34
Abb. 14: Von ConOps zum Nutzerzertifikat.....	36
Abb. 15: Von ConOps zur Personallizenz	37
Abb. 16: Zusammenfassung des risikobasierten Ansatzes	37
Abb. 17: SORA semantisches Modell	41
Abb. 18: Der SORA-Prozess.....	43
Abb. 19: Ermittlung der initialen ARC.....	51
Abb. 20: ARC-Prozess in SORA	54
Abb. 21: Systematik der Kosten einer Luftverkehrsgesellschaft	104

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Globaler Drohnenmarkt nach Anwendung von 2015–2020 (in Mio. US-Dollar)....	17
Tabelle 2: Einteilung innerhalb der Kategorie "Offen".....	24
Tabelle 3: Zusammenfassung der Genehmigungen in den einzelnen Kategorien.....	38
Tabelle 4: Ermittlung des Robustheitsgrades.....	42
Tabelle 5: Ermittlung der UAS-intrinsischen GRC.....	46
Tabelle 6: Mitigationen der GRC.....	47
Tabelle 7: Mögliche strategische Mitigationen durch operationelle Einschränkungen	55
Tabelle 8: Vergleich der TMPR-Forderungen für ARC-b und ARC-c.....	59
Tabelle 9: SAIL Ermittlung	60
Tabelle 10: Zuordnung der Robustheitslevel der OSOs zu den einzelnen SAIL.....	61
Tabelle 11: Wahrscheinlichkeiten und DAL für zertifizierte UAS	69
Tabelle 12: Gängige Werteskalen.....	100
Tabelle 13: Zusammenfassung der Kriterien.....	109